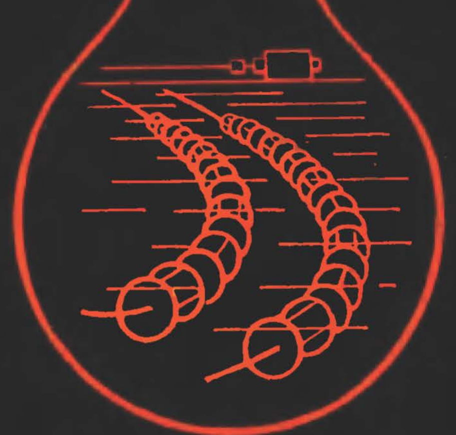
Б. С. Блинов



Гирляндная ГЭС



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 460

Б. С. БЛИНОВ

ГИРЛЯНДНАЯ ГЭС



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1963 ЛЕНИНГРАД

СОДЕРЖАНИЕ

В книге даны необходимые сведения для проектирования и постройки гирляндных ГЭС — свободнопоточных гидроэлектростанций малой мощности. Такие установки могут быть использованы не только для электрификации и радиофикации селений, механизации отдельных работ в колхозах, отдаленных от энергосистем, но и для обслуживания пионерных партий изыскателей и строителей энергетических объектов.

Главное внимание уделено устройству одногирляндных ГЭС (мощность 0,5—5 квт). Кроме того, в книге содержится краткое описание микроГЭС с одиночными гидравлическими двигателями.

Книга предназначается для широкого круга лиц, заинтересованных в использовании энергии малых рек с энергетическими целями и, в первую очередь, для организаторов школьных и колхозных радиокружков.

6П2.11 *Блинов Борис Сергеевич,*
Б 69 **Гирляндная ГЭС.** М.—Л., Госэнергоиздат, 1963. 64 стр., с илл. (Массовая радиобиблиотека, вып. 460).

6П2.11

Редактор *М. Н. Квитко* Техн. редактор *В. В. Емжин*

Обложка *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 2/VIII 1962 г. Подписано к печати 15/XII 1962 г.
Т-14342 Бумага 84×108$^1/_{32}$ 3,28 печ. л. Уч.-изд. л. 4,2
Тираж 27 000 экз. Цена 17 коп. Заказ 2539

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

Свободнопоточные двигатели работают без специальных устройств для направления водного потока и без каких-либо специальных гидротехнических сооружений (плотин).

Предлагавшиеся ранее свободнопоточные установки [Л. 1] не нашли широкого применения из-за относительной сложности всей конструкции, тихоходности (скорость вращения 3—20 *об/мин*), вследствие чего усложнялась передача энергии двигателя на вал генератора; кроме того, глубина реки для использования этих установок должна быть не менее 60 *см*.

Для увеличения быстроходности свободнопоточного двигателя с использованием поперечных турбин нами были применены турбины малого диаметра, закрепленные по нескольку десятков штук на одном тросе, являющемся валом этих турбин. В процессе работ с такими установками трос с закрепленными на нем турбинами был назван «гирляндой», отсюда и установки такого типа получили название «гирляндных установок», а установки, работающие на генерировании тока,—«гирляндных ГЭС».

Гирляндные установки могут работать как у дна, так и у поверхности потока. Разнообразие типов и видов гирляндных установок позволяет использовать энергию речных потоков с различными гидрологическими данными в створах установок. Гирляндные гидродвигатели могут быть установлены на потоках широких и узких (0,5 *м* шириной и более), глубоких и мелких (от 0,3 *м* глубиной и выше), со скоростями течения 1 *м/сек* и более, они могут быть установлены и на судоходных реках (постановки у дна и на прибрежных перекатах) и на несудоходных, в том числе с порожистым рельефом дна (постановка у поверхности воды).

Турбины вращаются с тросом как одно целое. Увеличение мощности таких установок достигается не возрастанием размеров турбин, а увеличением их количества на одном тросе, а также увеличением количества гирлянд, работающих на один генератор.

Находясь в потоке, гирлянда турбин воспринимает значительное лобовое сопротивление. Силы этих сопротивлений используются в конструкциях гирляндных ГЭС для натяжения троса гирлянды. В растянутом состоянии трос способен передавать крутящий момент турбин к рабочей машине — генератору, находящемуся на береговой опоре.

В гирляндных установках свободнопоточным двигателем служат турбины поперечные или торцовые, из которых набирают гирлянды (рис. 1).

Промышленный выпуск заготовок поперечных турбин для гирлянд под сборку заказчиком налажен Профессиональным техническим училищем № 3 г. Калинина.

Гирлянды могут располагаться поперек потока (гирлянды на поперечных турбинах (рис. 2а и 2б) между береговыми опорами или на определенной ширине реки (на якорных или винтовых опорах). Общий вид работающей одногирляндной ГЭС с поперечными

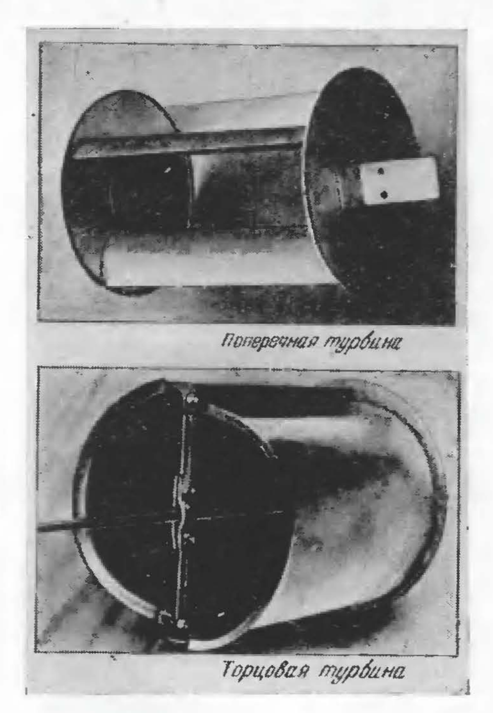


Рис. 1. Турбины—поперечная и торцовая гирляндных гидроэлектростанций.

турбинами диаметром 20 см показан на рис. 2а. Такие малые гидростанции в зависимости от скорости воды в реке (1,2—3,0 *м/сек*) создают от 1 до 5 *квт* мощности, при стоимости 1 установленного *квт* в пределах 100—60 руб.

Себестоимость вырабатываемой электроэнергии, подсчитанная на примере использования 3-киловаттной установки при 8 500 *ч* работы ГЭС в году, равна 0,24 *коп/квт · ч*.

Для многогирляндных установок с мощностями 5—50 *квт* стоимость 1 *квт · ч* будет больше в связи с необходимостью специальных видов обслуживаиия: дежурства на дому, технического ухода, смазки, а иногда и дежурства для пропуска катеров, многослойных плотов (при работе «на плаву»). Оценочные расчеты показывают,

514—1



Рис. 2а. Общий вид действующей на р. Карасу гирляндной ГЭС на поперечных турбинах мощностью ($N_{ген}$) 1 *квт*. (установка используется для освещения лагеря изыскательской партии).

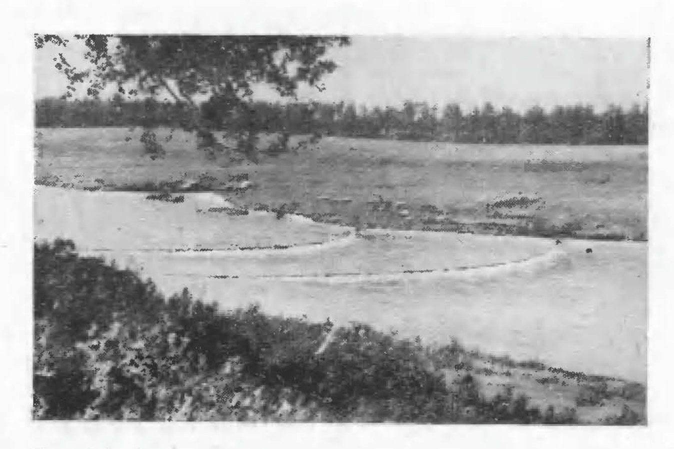


Рис. 2б. Двухгирляндная ГЭС с автономными генераторами на каждой гирлянде. Мощность ($N_{ген}$) каждой из гирлянд 3,5 *квт*. Установлена на р. Тверце у деревни Порожки (Калининская область).

что в зависимости от мощности установки и условий ее эксплуатации, в том числе и гидрологических данных створа, стоимость 1 *квт · ч* может быть до 0,92 коп.

В гл. 5 книги кратко рассматриваются быстроходные роторные установки одиночного типа, устанавливаемые на гибких и жестких осях.

Гирляндные установки малой мощности могут быть использованы для электрификации и механизации. Они могут служить источником для выработки электроэнергии, работая на генератор, или источником механической энергии, работая на вал сельскохозяйственной машины.

Гирляндные агрегаты могут быть удачно скомпонованы с помпами и поршневыми насосами для орошения сельскохозяйственных культур, для водоснабжения населенных пунктов и животноводческих ферм. Характерны простота и дешевизна таких насосных установок. Ведь поршневые насосы работают при 30—90 *об/мин*. Эти обороты как раз соответствуют оборотам гирлянд под рабочей нагрузкой, т. е. передача мощности с гирлянды на насос осуществляется непосредственно, без каких-либо промежуточных редукторов. Мы приводим основные насосы, которые сравнительно недороги по цене и просто компонуются с гирляндами. Общий к. п. д. насосных установок на поперечных турбинах может достигать 30%.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

РАЗНОВИДНОСТИ ГИРЛЯНДНЫХ УСТАНОВОК[1]

1. ГИРЛЯНДНЫЕ УСТАНОВКИ НА ПОПЕРЕЧНЫХ ТУРБИНАХ

а) Одногирляндная установка на поперечных турбинах

При протекании воды через поперечные турбины все время создается крутящий момент вследствие разности гидравлических давлений воды на их поверхностях относительно оси вращения. Одновременно поперечные турбины имеют и значительное лобовое сопро-

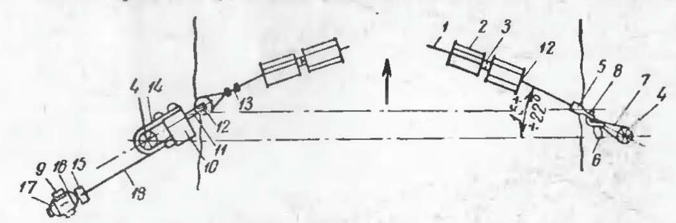


Рис. 3. Одногирляндная ГЭС (мощностью до 5 *квт*) на поперечных турбинах.

1 — трос; *2* — поперечная турбина; *3* — узел сочленения турбин; *4* — свая; *5* — узел упорного подшипника; *6* — тросик чеки; *7* — проволока для закрепления к свае; *8* — крюк; *9* — генераторная опора; *10* — редуктор; *11* — крюк блока; *12* — блок; *13* — стяжка; *14* — опора редуктора; *15* — стабилизирующая муфта скольжения; *16* — генератор; *17* — центробежный контактный регулятор; *18* — тросовая передача.

тивление в потоке; под действием сил лобовых сопротивлений турбин трос гирлянды находится все время в растянутом состоянии и в таком положении способен передавать крутящий момент на генератор или на рабочую машину, находящуюся на береговой опоре.

Турбины *2* попарно крепятся к тросу *1*, причем каждая пара турбин имеет общий узел *3* (рис. 3), обеспечивающий как постоянство положения турбин на тросе, так и возможность рабочих перемещений каждой из турбин пары (в гл. 2 рассмотрены детали конструкций для всех элементов и узлов одногирляндной ГЭС). В каждой паре одна турбина повернута к другой по направлению вращения на 90°. Это выполнено с целью выравнивания крутящего момента каждой пары турбин за один оборот. Если бы это не было осуществлено, трос *1* закручивался бы рывками и создавал бы на выходе неравномерный крутящий момент по времени.

[1] По конструкциям гирляндных ГЭС на поперечных турбинах—данные на конец 1961 г.

Реакция сил натяжения гирлянды воспринимается береговыми опорами (сваями *4*), вкапываемыми в грунт. Свободная опора имеет крюк *8* и узел упорного подшипника *5*, дающий возможность как свободной ориентации конца гирляндного троса, так и его свободного вращения. При необходимости сброса гирлянды с помощью тросика *6* вынимается чека и за чеку оттягивается крюк *8*. Сброшенная линия располагается ниже по течению вблизи от берега.

Второй конец троса гирлянды идет на генераторную опору; он перекинут через блок *12* и закреплен стяжками *13*. Блок закреплен на крюке *11*. На раме *14* установлена редукторная часть установки.

Трос *18* позволяет установить генератор и муфту на более высокой отметке местности во избежание затопления электрической части установки в паводок. Закрепление конца троса на генераторной опоре также шарнирное.

Направление вращения троса выбирается таким образом, чтобы, передавая нагрузку, он работал на скручивание прядей. Только в этом случае он способен передавать мощность, причем, когда заборники турбин по отношению к набегающему потоку расположены выше оси троса,—гирлянда работает «на всплытие». Если ниже троса,—«на погружение». В случае работы «на погружение» между дном и гирляндой создается донная водяная подушка, по высоте равная 0,3—0,4 диаметра турбин, которая и не дает гирлянде соприкасаться с дном. В случае работы «на всплытие» гирлянда располагается у поверхности воды.

Подъемная сила поперечных турбин падает с уменьшением скорости их вращения, а потому при значительном торможении гирлянда теряет плавучесть и опускается на дно. Этим пользуются при эксплуатации гирлянд, работающих «на плаву», для пропускания плавсредств со значительной осадкой (многослойных плотов, катеров) в том случае, если гирляндой перекрыт весь створ реки от берега и до другого берега. Для торможения гирлянды через проток по ширине створа перед гирляндой перебрасывается несколько концов проволоки диаметром 2—3 *мм*. Один из них натягивается через проток, другие остаются на дне. При соприкосновении плавучих тел большой массы с проволокой от ее добавочного натяжения вытягивается чека стопорного устройства и гирлянда стопорится ленточным тормозом, опускаясь на дно. Для пуска гирлянды необходимо отвести ленточный стопор и вложить чеку, а после пуска натянуть следующий конец предохраняющей проволоки через поток.

Бревна, лед и другие плавающие предметы, имеющие незначительную осадку, проходят через гирлянду, работающую «на плаву», беспрепятственно, так как вокруг вращающейся гирлянды создается вращающийся слой воды, который отталкивается от приближающихся предметов.

б) Каскад одногирляндных установок с автономно работающими генераторами

Установка из двух гирлянд была впервые поставлена в деревне Порожки совхоза «Медновский» в июне 1962 г. (рис. 2б). Передняя гирлянда выдает электрическую мощность 3,5 *квт* и предназначена для освещения деревни Мухино, расположенной в 2 *км* от створа, задняя гирлянда, расположенная от передней на расстоянии 18 *м*, освещает в Порожках 17 дворов, молочную ферму (75 голов), конюшню (12 лошадей), молокоприемный пункт и силосохранилища.

Каждая из гирлянд состоит из 100 турбин (D=200 *мм*; L=300 *мм*). Скорость потока у низовой гирлянды 1,6 *м/сек* и у второй 1,2 *м/сек*. Режим работы гирлянд — «на плаву».

Генераторы: на первой гирлянде *ПН*-28,5*В* и на второй — *ПН*-28,5 постоянного тока с оборотами 1 000 *об/мин*.

Стабилизация сети — балластная; балластной нагрузкой освещены: улица деревни, сени дворов и помещения для скота при дворах.

Тверца — река, на которой установлены ГЭС, типичная река равнинного типа. В районе деревни Порожки можно разместить 26 подобных гирлянд, причем каждая из деревень, ближних к Порожкам и расположенным на р. Тверце, имеет такие же возможности. Совхоз «Медновский» имеет 24 деревни, лишь 4 из которых освещаются вечерами и в утренние часы за счет работы бензогенераторных агрегатов малых мощностей. Мыслится установка автономных гирлянд, работающих на привод определенных агрегатов, например электродоильных аппаратов.

в) Многогирляндные установки на поперечных турбинах

В тех случаях, когда мощность створа значительно больше той, которую отбирает одиночная гирлянда (см. гл. 2), для увеличения мощности свободнопоточной установки их можно делать двух-, трехгирляндными, а также с бо́льшим числом гирлянд. В зависимости от видов сочленения гирлянд на генераторной и свободных опорах гирляндные ГЭС могут иметь ряд конструктивных разновидностей. При расположении гирлянд в створе следует руководствоваться следующими положениями. Если $h_{\text{ср}}$ (*м*) — средняя глубина створа, то количество гирлянд в данном створе должно быть меньше величины $h_{\text{ср}}/D$, где D (*м*) — диаметр гирлянды.

Расстояние между гирляндами в плане, исходя из проведенных лотковых и речных испытаний, должно быть порядка 20÷40 D. Если гирлянды в створе работают сопарно, часть на плаву, а часть на погружение, то строй гирлянд идет в шахматном порядке с расстоянием между однорежимными гирляндами порядка 20÷40 D.

П а р а л л е л ь н о е   р а с п о л о ж е н и е   г и р л я н д (рис. 4). Узел свободной опоры такой установки состоит из жестких профилей *14* (например, уголковых), соединенных между собой накладками *15* и закрепленных кольями *17*, причем колья опираются на вкопанные деревянные брусья *13*. Можно произвести при потребности и цементацию опоры.

В соединение свободной опоры гирлянды входят крюк *16* и узел обоймы упорного подшипника *18*. Этот узел свободноориентирующийся (см. гл. 1, § 1, п. «а»).

Узел генераторной опоры имеет площадку генератора *11*, расположенную со стороны первой гирлянды, на которую набегает поток, жестко сболченную с профилем *8*, играющим роль корпуса станины трансмиссионного вала *5*. Вал *5* соединен со станиной посредством опор *4*.

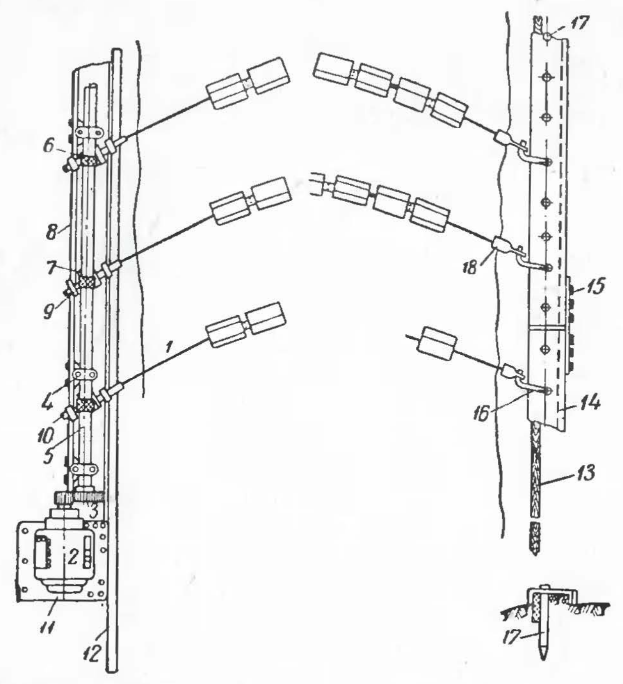


Рис. 4. Многогирляндная установка с параллельным расположением гирлянд (мощностью более 5 *квт*).

1 — гирляндный трос; *2* — генератор; *3* — редуктор; *4* — опорный кронштейн; *5* — трансмиссионный вал; *6* — приводной ремень; *7* — опорный кронштейн гирлянды; *8* — швеллер; *9* — подшипник; *10* — вал опорного узла; *11* — генераторная плита; *12* и *13* — подпорные доски; *14* — уголковый профиль; *15* — болты накладки; *16* — крюк; *17* — кол; *18* — узел обоймы упорного подшипника.

Мощность с троса гирлянд может передаваться на трансмиссионный вал полуперекрещивающимся ремнем (см. рис. 5,*а*). Однако для установок значительных мощностей лучше применять шестеренчатое зацепление посредством пары конических шестеренок (как это изображено на рис. 5,*б*). Генератор *2* связан либо непосредственно через переходную муфту с трансмиссионным валом *5*, либо имеет ступень редукции *3*. Для использования вертикального генератора, который может быть установлен на высоте, безопасной от наводнения, шестерни *3* можно выполнить коническими, с углом зацепления 45°.

Узел привода вала трансмиссии на конических шестернях (рис. 5,*б*) состоит из литых либо сварных промежуточных опор *7*,

трансмиссионного вала *5*, который вращается в подшипниках, выполненных путем закладывания роликов между валом и промежуточной опорой, ее крышка крепится болтом. Вращение передается парой конических шестерен *9* и *10*. Трос *1* имеет шарнирную заделку на блоке.

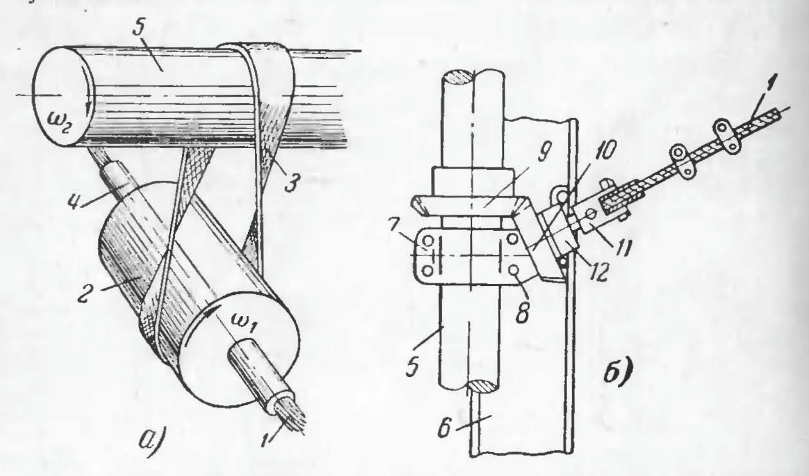


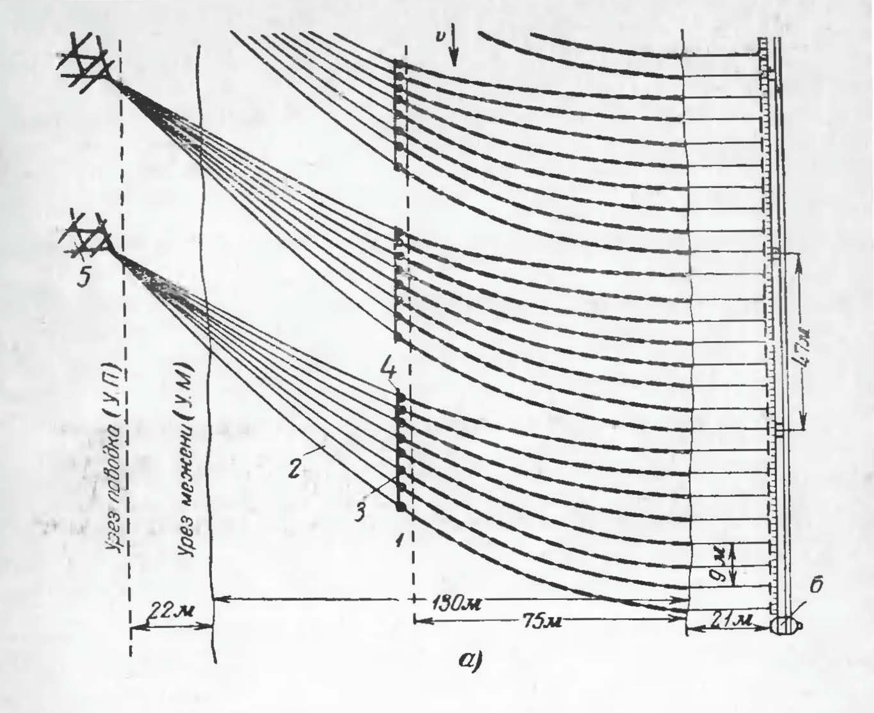
Рис. 5. Передача вращения с гирлянды на трансмиссионный вал.
а — с помощью полуперекрещивающихся ремней; *б* — парой конических шестерен. *1* — трос гирляндной ГЭС; *2* — вал опорного узла; *3* — приводной ремень; *4* — опорная часть; *5* — трансмиссионный вал; *6* — опорная станина (швеллер); *7* — литая промежуточная опора, между крышкой опоры и валом установлены ролики; *8* — болты для соединения крышки с корпусом опоры; *9* и *10* — конические шестерни; *11* — обойма для блока; *12* — шариковый радиально-упорный подшипник.

У с т а н о в к а, с о б р а н н а я п о к у с т о в о й с х е м е. Активная часть гирлянды собрана из типовых поперечных турбин; трос гирлянды оканчивается свободным подшипником, далее идет связывающий конец троса *2*, работающий на растяжение (рис. 6,*а*). Реакция момента трения при вращении свободных подшипников гирлянд воспринимается связывающим стержнем *3*, отдельным для каждой группы гирлянд.

Связывающий стержень жестко скреплен с концами тросов *2*, а концы тросов *1* подсоединены к стержню *3* посредством узлов, аналогичных показанным на рис. 3 (позиции *5, 6, 7, 8*).

Свободная опора может быть набрана из стальных лент и врытых досок с упирающимися на них кольями или может иметь бетонное основание. Опора оборудована устройством сброса гирлянд, обеспечивающим как погирляндный, так и одновременный сброс гирлянд. Привод генератора осуществляется здесь цепью Галля (рис. 7,*а*). Генератор должен быть установлен с возможностью его подтяжки при вытяжке цепи.

Этот привод более дешев по сравнению с приводом при помощи трансмиссионного вала и более прост. Мощность от гирлянд передается со звездочек *3*, вращающихся в кронштейнах *2*, на ролико-



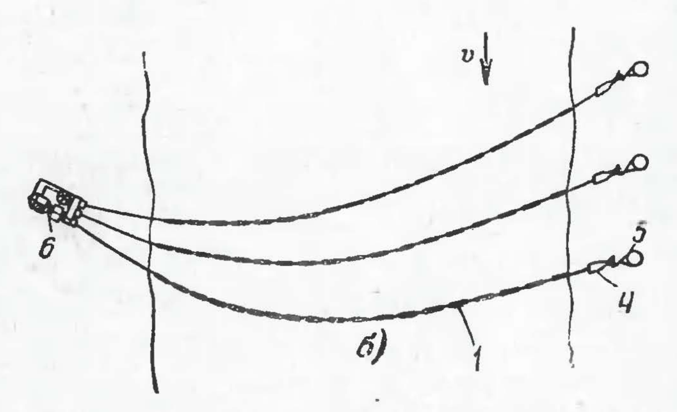


Рис. 6. Схемы многогирляндных ГЭС на поперечных турбинах.
а — схема кустовой постановки поперечных гирлянд; *б* — лучевая схема постановки поперечных гирлянд; *1* — гирлянда; *2* — свободные концы тросов; *3* — связывающий стержень; *4* — узел свободного подшипника; *5* — свободная опора; *6* — генератор.

вую цепь *6*, причем направление вращения звездочек *3* подбирается таким образом, чтобы цепь *6*, проходящая снизу, работала под рабочей нагрузкой натяжения. Сверху звездочек *3* поставлены прижимные ролики с гладкой поверхностью *7*, которые предохраняют цепь от соскакивания с зубчаток. Цепь, проходящая сверху роликов, двигаясь в обратном направлении, катится по ним.

Лучевая схема установки. В двух- и трехгирляндных установках эта схема может быть наиболее просто выполнимой. Гирлянды как бы лучами расходятся от генераторной опоры (рис. 6,*б*). Привод может быть выполнен посредством угловых шестеренок или цепей Галля. В последнем случае к ведущим звездочкам гирлянды присоединяются шарнирно, например с помощью шаровых шарниров (рис. 7,*б*) или карданных шарниров. Шарнир здесь должен держать

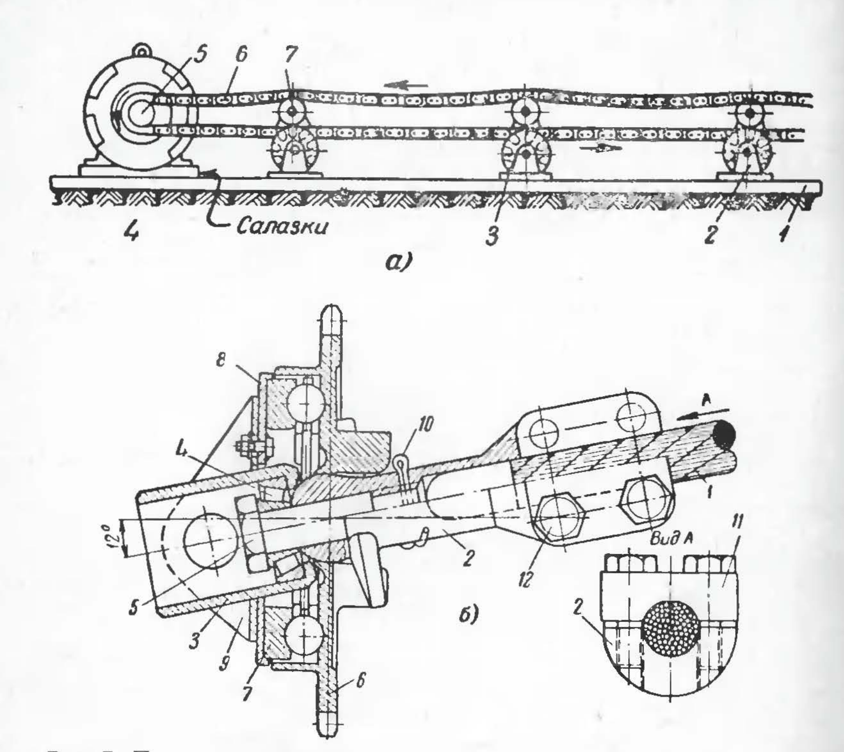


Рис. 7. Передача вращения с гирлянд, установленных по кустовой и лучевой схеме на вал генератора.

а — привод генератора в многогирляндной ГЭС (по рис. 6,*а*) посредством цепи Галля: *1* — опорная плита; *2* — кронштейн; *3* — звездочка гирлянды; *4* — генератор; *5* — звездочка генератора; *6* — цепь Галля; *7* — прижимные ролики; *б* — узел передачи мощности с гирляндного троса на привод цепи Галля в лучевой схеме сочленения гирлянд многогирляндных гидросиловых установок: *1* — трос; *2* — вал; *3* — обойма; *4* — подшипник; *5* — болт; *6* — зубчатка; *7* — упорный подшипник; *8* — крышка; *9* — каретка; *10* — шплинт; *11* — стяжка; *12* — болт.

также осевую нагрузку. Свободные опоры удобнее выполнять раздельными, на каждую гирлянду отдельно в виде свай или винтовых опор.

В приводимом узле сочленения мощность с гирлянд снимается на вал редуктора при помощи передачи роликовой цепью. В приводимой схеме (рис. 7,*б*) вне зависимости от угла наклона гирлянды (здесь 78°) к плоскости зубчатого колеса *6*, передающего вращение на роликовую цепь, плоскость зубчатого колеса может быть установлена параллельно плоскости входной зубчатки редуктора. Это достигается регулировкой положения каретки *9*, фиксируемой зажимом. Гирляндный трос *1* имеет опаянную (латунью, например) концовку и крепится к валу *2* при помощи стяжки *11* болтами *12*. Весь узел сочленения гирлянды крепится к береговой плите болтом через сверления обоймы *3*. Этот болт продевает и ушки каретки *9*. В обойме имеется радиально-упорный подшипник *4* с коническими роликами, который одновременно воспринимает как натяжение гирлянды, так и боковую (перерезывающую) силу, возникающую от нагрузки на зубчатку. В подшипник *4* продет болт *5*, ввернутый до упора в вал *2* и законтренный шплинтом *10*. Вал *2* имеет на конце сферический участок, на котором сидит зубчатка *6*. Зубчатка *6* с одной стороны опирается на зубья венца, выполненного заодно с валом *2*, а с другой стороны подпирается упорным подшипником *7*. Наклон вала в вертикальной плоскости регулируется наклоном постановки опоры.

г) Работа поперечных турбин. Формулы для расчета гирляндной ГЭС

Набегающий на турбину поток создает лобовую силу давления. Профиль турбины подобран так, что набегающий поток с одной стороны от оси вращения образует большее давление, чем с другой, от этого и возникает крутящий момент. Чем выше крутящий момент и скорость вращения турбины, тем выше ее мощность.

Первые поперечные турбины предложены в Советском Союзе 2 октября 1924 г. братьями А. А. и Я. А. Ворониными. Лучшая из этих турбин имела к. п. д., равный 18%: только 18% энергии, набегающей на турбины, преобразовывалось в работу вращения. Профиль лопастей турбины Ворониных мы иногда применяем и теперь там, где в основном нас интересуют простота и жесткость конструкции. Он приведен на рис. 16а и 31. С какой стороны ни набегал бы поток на профиль поперечной турбины, он всегда создает вращение одного направления.

Известно много разновидностей поперечных турбин — около 60; 34 из них испытаны в 1960 г. Лучшим к. п. д. обладают поперечные турбины, предложенные Е. С. Бирюковым в 1946 г. и улучшенные в наших испытаниях. Коэффициент полезного действия этих турбин равен 41—46%. Относительные размеры профиля турбины приведены на рис. 28.

Турбина с этим профилем создает крутящий момент за счет захвата потока всеми кромками лопастей, для чего задние кромки лопастей у нее обогнуты на 120° и образуют «захваты». Кроме того, значительная часть крутящего момента создается и за счет прохода воды через внутреннюю полость турбины. Вода, стараясь двигаться прямолинейно, создает давление на стенки внутреннего канала тур-

бины. Изгиб захватов на 120° выбран исходя из того, чтобы вихрь воды, вращающийся в захвате при его нерабочем положении, выступал за обвод захвата таким образом, чтобы обратное обтекание шло по вихрю (как по ролику), а не за счет обтекания потоком захвата, что снизило бы мощность турбины.

Мы считаем, что к. п. д. некоторых видов поперечных турбин при их обработке может быть и более 46%.

Испытаниями гирляндной ГЭС, проведенными НИС Гидропроекта в деревне Порожки, выяснено, что турбины Бирюкова плавающими в воде предметами не засоряются; бревна, лед и даже проплывающие плоты повреждений турбинам, работающим «на плаву», не наносят, так как образующийся надгирляндный слой воды (при $v=1,25$ *м/сек* он составляет 21 *см*), предохраняет гирлянду. При давлении на гирлянду в каком-то месте она опускается ниже по глубине. Лодки проходят легко по течению опять-таки без повреждения гирлянды; если гирлянда работает на погружение, то ряд поставленных выше вопросов снимается вообще. В то же время не всегда возникает необходимость занимать под гирлянды весь створ по всей его ширине; можно, кроме того, на части створа использовать торцовые гирлянды. Монтаж гирлянд весьма прост и вместе с постановкой отнимает немного времени (в некоторых случаях у 4—6 чел. 2—3 *ч* при мощности ГЭС 2,5—5 *квт*) при подготовленных заранее элементах установки и в летних условиях.

Испытана также работа гирлянды в шугоносном слое. Шугой турбины не забиваются, но садятся на грунт во время сплошного забивания створа шугой ввиду резкого снижения скоростей течения. После схода шуги и увеличения скорости течения гирлянды самопроизвольно начинают работу.

Работа гирляндных ГЭС под льдом (В. Н. Кангин, Ю. М. Новиков) показала, что гирлянды как «на плаву», так и «на погружение» хорошо работают в подледных условиях. В месте прохода троса через лед образуется отверстие диаметром 5—8 *см*. Примерзание гирляндного троса ко льду даже при трехдневной остановке ГЭС на 18°-ном морозе мгновенно было порвано при снятии стопорения гирлянды. Это получается за счет значительного крутящего момента гирлянд.

Формулы для расчета одногирляндной ГЭС

1. *Мощность одной гирлянды* с поперечными турбинами по рис. 1

$$N_{гир} = DL \frac{v^3}{2} \eta_н, \qquad (1)$$

где $N_{гир}$ — мощность, снимаемая одной гирляндой, *квт*;
D и L — диаметр поперечной турбины и длина всей активной части гирлянды (см. рис. 16а и 20), *м*;
v — скорость течения потока, *м/сек*;
$\eta_н$ — натечный к. п. д. турбины, характеризующий качество профиля турбины; $\eta_н = 0,46$ для поперечных турбин, изготовляемых Профессионально-техническим училищем № 3 г. Калинина.

2. *Мощность по генератору*

$$N_{ген} = N_{гир}\,\eta_{ред}\eta_{ген}; \qquad (2)$$

здесь $N_{ген}$ — мощность на зажимах генератора, *квт*;
$\eta_{ред}$ и $\eta_{ген}$ — к. п. д. редуктора и генератора; $\eta_{ред} = 0,9 - 0,7$ (в зависимости от степени редукции); $\eta_{ген} = 0,9 - 0,75$ для тихоходных генераторов малой мощности (приложение 1).

Общий к. п. д. установки составляет всего 0,24—0,37.

3. *Крутящий момент*, создаваемый гирляндой поперечных турбин, определяется из уравнения $M_{кр} 2\pi n = 102 N_{гир}$ и определяется по формуле

$$M_{кр} = 16,21 \frac{N_{гир}}{n}. \qquad (3)$$

$M_{кр}$ выражается в килограммометрах ($кГ \cdot м$), а мощность $N_{гир}$ в киловаттах (*квт*).

Скорость вращения гирлянды n в формуле (3) может быть вычислена

$$n = C_n \frac{v}{D}, \qquad (4)$$

где n — скорость вращения, *об/сек*;
C_n — коэффициент скорости вращения; при установившейся оптимальной нагрузке $C_n = 0,23$;
v и D пояснены к формуле (1).

Для гирлянд $n = 60 - 200$ *об/мин*.

4. *Лобовое давление* (в *кГ*) со стороны потока

$$P = \frac{C_x}{2} DL\rho v^2. \qquad (5)$$

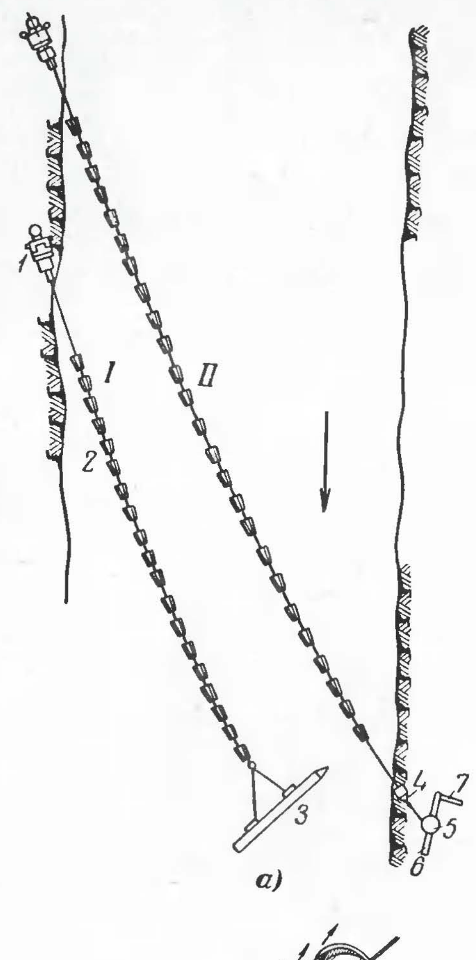
где C_x — коэффициент лобового сопротивления поперечных турбин, $C_x = 0,85$ на режиме стопорения гирлянды и $C_x = 0,65$ на рабочем режиме;
ρ — плотность воды: $\rho = 102$ $кГ \cdot сек^2/м^4$;
D, L и v — значения приведены в формуле (1).

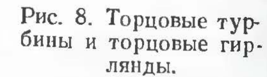
2. РАЗНОВИДНОСТИ ГИРЛЯНДНЫХ УСТАНОВОК НА ТОРЦОВЫХ ТУРБИНАХ

а) Одногирляндные установки на торцовых турбинах

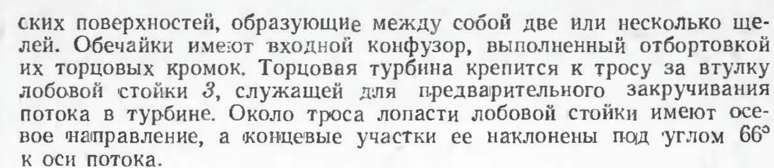
На узких и мелких реках, на которых не могут быть применены поперечные гирлянды, в качестве двигателей бесплотинных установок можно использовать гирлянды, состоящие из торцовых турбин.

Торцовая гирлянда состоит из своеобразных турбин (рис. 1 и 8), каждая из которых крепится неподвижно на гирляндном тросе в одной точке. Турбина состоит из дна *2*, обечаек *1*, представляющих собой две смещенные друг относительно друга части цилиндриче-




Рис. 8. Торцовые турбины и торцовые гирлянды.

а — варианты натяга торцовых гирлянд (*I* — натяг торцовой гирлянды паравным устройством, *II* — то же воротом); *1* — генераторная опора; *2* — гирлянда; *3* — парованное устройство; *4* — узел упорного подшипника; *5* — ворот; *6* — вага; *7* — стопор ворота; *б* — схема обтекания торцовых турбин; *1* — обечайка; *2* — торцовая шайба; *3* — лобовая стойка; *4* — трос.


ских поверхностей, образующие между собой две или несколько щелей. Обечайки имеют входной конфузор, выполненный отбортовкой их торцовых кромок. Торцовая турбина крепится к тросу за втулку лобовой стойки *3*, служащей для предварительного закручивания потока в турбине. Около троса лопасти лобовой стойки имеют осевое направление, а концевые участки ее наклонены под углом 66° к оси потока.

Гирлянда торцовых турбин может быть установлена различным образом: например, по одноопорной схеме с моста или с плавсредств, или с берега при помощи оттягивающего так называемого парованного устройства рис. 8,*а*. Это устройство состоит из щита *3*, расположенного наклонно к потоку; на щите возникает боковая сила, оттягивающая гирлянду от берега, на котором она закреплена. Положение щита относительно гирлянды фиксируется

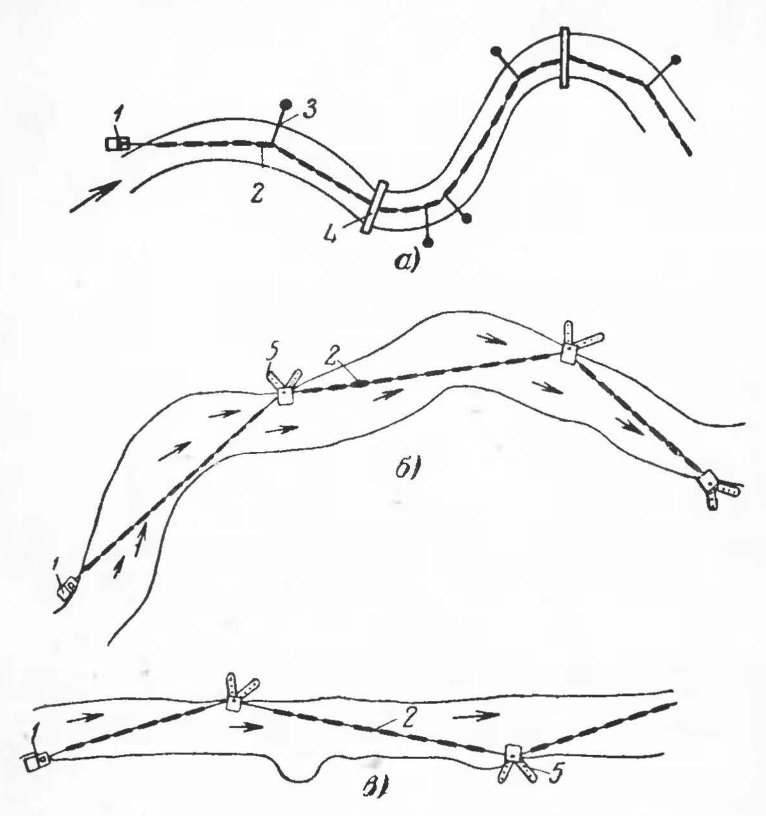


Рис. 9. Схемы одногирляндных ГЭС на торцовых турбинах на узких реках и при разных способах их постановки.

а — установка с помощью мостиков и на оттяжках; *б* и *в* — с использованием промежуточных береговых опор; *1* — генераторная (машинная) опора; *2* — гирлянда торцовых турбин; *3* — оттяжка; *4* — мостики; *5* — промежуточные береговые опоры.

двойными оттяжками; ширина (глубина) щита около 400—800 *мм*. Постановка гирлянды может быть и двухопорной — вторая опора играет роль оттяжки гирлянды к противоположному берегу. При недостаточном натяжении гирляндного троса такой опорой может служить ворот *5*, которым мы можем обеспечить нужный натяг гирлянды.

В случае, когда с одиночной гирлянды мы хотим снять повышенные мощности, а также на узких реках, постановка гирлянды может быть проведена с двумя или большим числом береговых оттяжек, в этом случае гирлянда располагается ломаной линией (змейкой) между берегами реки (рис. 9). Трос гирлянды в подшипниках оттяжек получает возможность свободно вращаться, а также скользить в осевом направлении.

При постановках торцовых гирлянд, так же как и гирлянд на поперечных турбинах, отсутствуют какие-либо устройства, крепящие гирлянды к дну реки; могут потребоваться опоры на мостиках (рис. 11,*б*).

Гирлянды благодаря разнообразию конструктивных решений при их постановке могут быть поставлены как «на плаву», так и «на погружение» как на всей ширине реки, так и на части ее ширины, когда в этом имеется необходимость.

б) Многогирляндные установки на торцовых турбинах

Многогирляндные установки на торцовых турбинах могут иметь значительно больше схем постановки, чем это мы имеем в многогирляндных установках на поперечных турбинах. Конструкция машинных опор в ряде случаев может быть применена та же, что и на установках с поперечными турбинами, но имеющая другой, соответствующий расположению торцовых гирлянд поворот к направлению потока. Могут быть конструкции с оттяжками на противоположном берегу наподобие тех, что приведены на рис. 9,*б* и *в*. В этой установке гирлянды могут быть применены как правого, так и левого вращения. Сочленение гирлянд на привод генератора можно осуществлять береговым валом наподобие того, как это мы имеем для установок с поперечными турбинами.

Установка, поставленная с помощью береговых оттяжек (рис. 10,*а*). В этом случае береговые оттяжки выполнены из свай и толстой проволоки, на которой закреплены серьги, несущие по два разнесенных подшипника, в которых вращается трос гирлянды.

Гирлянды передают мощность на редуктор роликовой цепью. Такого типа установки приемлемы для рек шириной 5—20 *м*.

Установка, поставленная с помощью парованных оттяжек (рис. 10,*б*). Эта схема применяется в тех случаях, когда требуется оставить свободной от гирлянд часть ширины створа реки, например, для прохода судов. Она применима и в случаях, когда створ значительной ширины, а ставить оттягивающие опоры на противоположном берегу не представляется возможным. В этом случае машинная опора, гирлянды и оттягивающие устройства выполняются так, как это было описано выше. Оттягивающие устройства соединены между собой тросом; их можно было бы выполнить также в виде бревенчатого плота, связанного с грунтом, например, винтовыми якорями.

Устройства для установки гирлянд показаны на рис. 11.

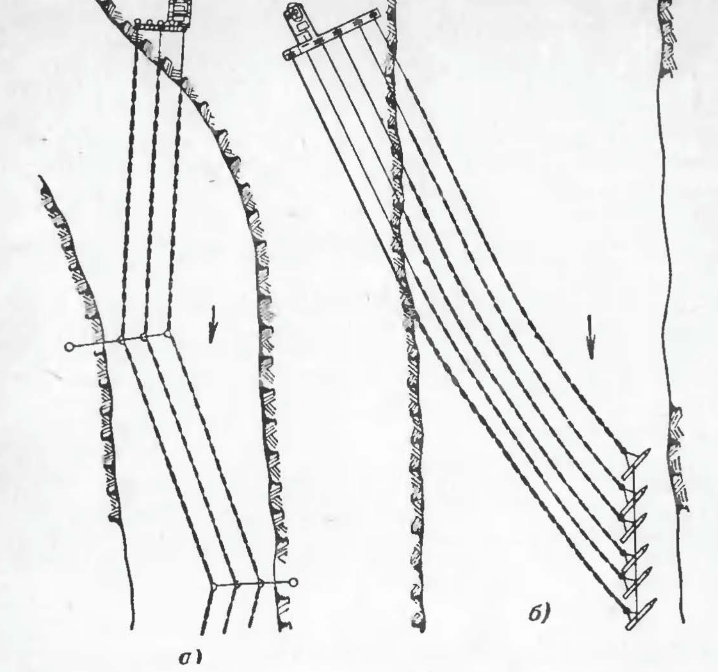


Рис. 10. Схемы многогирляндных ГЭС на торцовых турбинах.

а — трехгирляндная установка на торцовых гирляндах, поставленная с помощью береговых оттяжек; *б* — шестигирляндная установка на торцовых гирляндах, поставленная с помощью соединенных между собой парованных оттяжек.

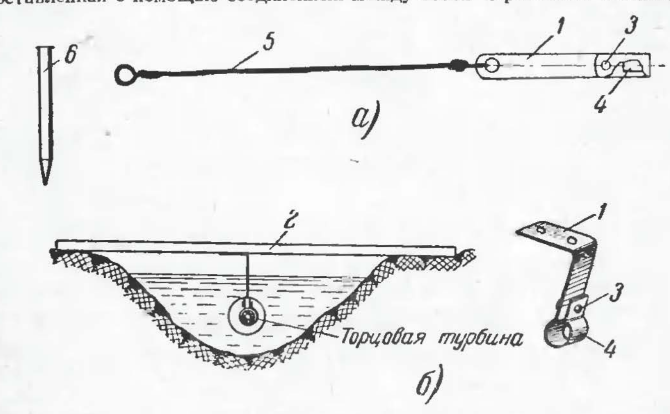


Рис. 11. Приспособления для установки гирлянд торцовых турбин.

а — береговые оттяжки; *б* — мостики с кронштейнами; *1* — кронштейн или листовая полоса; *2* — „мостик", образованный доской; *3* — болтовый комплект; *4* — отверстие для подшипника; *5* — оттяжка; *6* — свая.

в) Работа торцовых турбин

Установки на торцовых турбинах в своей конструкции не имеют принципиально отличных узлов от тех, которые нами описаны в гл. 1, § 1, п. «а».

Принцип работы торцовой турбины был показан в гл. 1, § 2, п. «а». Поток, набегая на турбину (рис. 12), в первом приближении создает давление

$$P = S_з \frac{\rho v^2 c_x}{2} \ [кГ], \qquad (6)$$

где $S_з$ — площадь заборника турбины (в $м^2$), определяется по внешнему диаметру отбортовки.

c_x — коэффициент сопротивления, величина безразмерная; в данном случае $c_x = 1,2$;

ρ — плотность воды, $кГ \cdot сек^2/м^4$;

v — скорость набегающего потока, $м/сек$.

Мощность торцовой турбины определяется так:

$$N = kS_з v^3 \ [квт], \qquad (7)$$

причем величина k в зависимости от различных геометрических соотношений турбины колеблется от $k=0,09$ до $0,114$ [Л. 4]. $k=0,5 \cdot \eta$, тогда $\eta = 0,18$—$0,23$.

Мощность определялась опытным путем, загрузкой линии, состоящей из восьми торцовых турбин, воздушными крыльчатками, заранее протарированными по скорости вращения, с замером их угло-

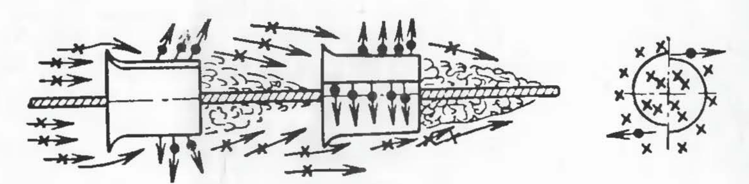


Рис. 12. Схема к расчету торцовых турбин (поток осевой).

вых скоростей при работе турбин. Поэтому коэффициент мощности $k=0,09$—$0,114$ относится ко всей линии. Делением мощности линии на число турбин получали мощность одиночной торцовой турбины. Замеры местных скоростей перед тремя, четырьмя и так далее турбинами показали, что скорость потока на входе турбин несколько больше, чем на входе первой турбины (рис. 12).

За закрытым торцом турбин образуется конус завихрений потока, например, при скорости 1,2 *м/сек* равный по высоте 1,35 D по оси троса, в боковые щели турбины поток отбрасывается по периферии (реактивная струя), но основная масса воды устремляется на

обтекание внешней поверхности турбины и торцового конуса, огибая его. От этого поток у стенок турбины увеличивает скорость. Например, при скорости свободного потока $v=1,2$ *м/сек* наблюдалась скорость около турбин до 1,7 *м/сек*. Но в турбины вода поступала все же с осредненными скоростями, близкими к 1,2 *м/сек* (1,23—1,27 *м/сек*).

Турбины при вращении создают своими цилиндрическими поверхностями так называемую донную подушку, которая не дает им опускаться на дно. Величина донной подушки колеблется от 0,15 до 0,21 D турбины. Была замечена большая потеря энергии потока на вихреобразования за закрытым торцом турбины, где наблюдаются даже разрывы потока. В ранних опытах нам было необходимо иметь значительное лобовое сопротивление турбин, чтобы получить достаточное растягивающее усилие по тросу ($\sigma_р = 1,8$—3 $кГ/мм^2$), при котором трос становится работоспособным на передачу скручивающей нагрузки. Турбины фиксируются на тросе ступицей передней стойки. Ступица торцовой стенки может скользить по тросу. Если бы турбину фиксировать в двух точках, ее бы скрутило при работе гирлянды турбин.

ГЛАВА ВТОРАЯ

КОНСТРУКЦИЯ И РАСЧЕТ ОДНОГИРЛЯНДНЫХ УСТАНОВОК НА ПОПЕРЕЧНЫХ ТУРБИНАХ

3. КОНСТРУКЦИЯ ОДНОГИРЛЯНДНЫХ УСТАНОВОК НА ПОПЕРЕЧНЫХ ТУРБИНАХ

Одногирляндные установки могут при работе на скоростях течения в пределах 1,2—3 *м/сек* достигать 5-киловаттных мощностей. При скоростях течения, близких к 1,0 *м/сек*, мощности, снимаемые с отдельных гирлянд, в лучшем случае порядка 1 *квт*. Эти установки весьма просты по устройству. На рис. 13,*а* дана конструкция такой установки, развивающей мощность 0,2 *квт* при скорости потока, близкой к 1,0 *м/сек*, и около 1 *квт* при $v=1,7$ *м/сек*. Эти установки легкопереносны (рис. 13,*б*). Они могут быть за один день установлены двумя — четырьмя монтажниками.

Генераторная опора может быть выполнена металлической конструкции, как это изображено на рис. 14,*а*. Там, где проще достать деревоматериалы, генераторная опора может быть выполнена деревянной конструкции. Опоры и деревянной и металлической конструкций могут иметь также свайное закрепление к грунту.

Однако и вся опора генератора, включая редуктор, может быть выполнена на свае (рис. 15). В этом случае имеется возможность поднять генератор выше паводкового уровня. Со стороны гирлянды редукторы снабжаются упорными подшипниками.

Гирлянда может быть связана с редукторной опорой тонкой тросовой передачей. При такой конструкции редукторная опора ставится чуть выше (на 200—300 *мм*) меженного горизонта, а генераторная выше отметки паводкового уровня. При этом редуктор выполняется с уплотнениями на входах и выходах валов. Свободная опора может быть также свайного типа или выполнена из опорных лент.

Сделать самому поперечную турбину и всю свободнопоточную установку можно, воспользовавшись данными, представленными на рис. 16а, 16б и 16в.

И. Н. Морозов предложил выполнять свободную опору в виде ворота, которым гирлянда затягивается в рабочее состояние.





Рис. 13. Одногирляндная установка.

а — полный комплект одногирляндной ГЭС; *б* — установка гирлянды в реку.

В этом случае, дав свободный ход вороту, мы как бы производим сброс гирлянды. Этот способ дает ряд преимуществ при эксплуатации гирляндных ГЭС, основное из которых — затягивание гирлянды на рабочий створ без вхождения в воду обслуживающего персонала. Для мощностей ГЭС выше 3 *квт* применяется затяжка гирлянд лебедкой.

На рис. 16в приведен также характерный узел гирляндных установок: узел свободного опорного подшипника, обеспечивающий

562—2

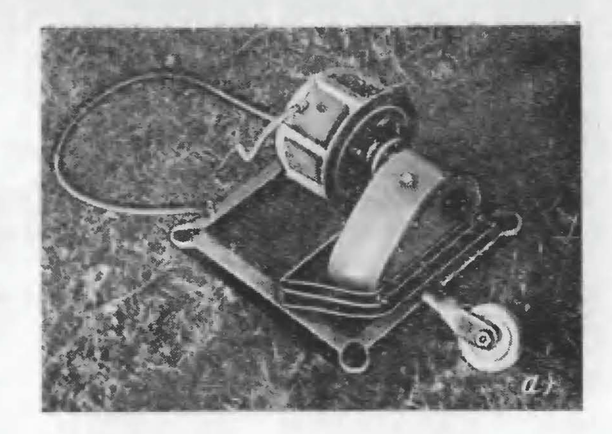




Рис. 14. Генераторные опоры.

а — для гирляндной установки, показанной на рис. 13; *б* — то же на рис. 2а.

необходимый натяг и свободное вращение концов гирлянд у свободных опор, и узел гирляндного троса. Иногда, когда с обеих сторон гирлянды установлены блоки с шарнирами, трос имеет с обеих сторон «законцовки» без утолщений, подобные той, которая представлена на рис. 21,*в*. Это дает возможность переборки гирлянды

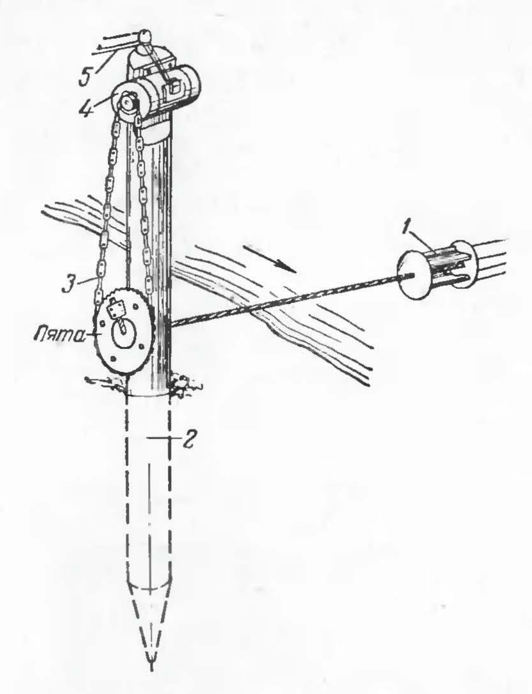


Рис. 15. Генераторная опора свайного типа.
1 — гирлянда; *2* — свая; *3* — передача цепью Галля; *4* — генератор; *5* — проводка к потребителям.

с обоих концов троса. На рис. 16а представлен узел сочлененяя пары поперечных турбин на тросе. Этот узел должен обеспечивать как передачу крутящего момента каждой из турбин на трос, так и необходимые рабочие перемещения каждой пары турбин относительно друг друга при работе в гирлянде, имеющей кривизну.

Деталью, которая фиксирует каждую из пары турбин, является планка *2*. Она входит в прорези внутренних боковин *12* турбин, а разгиб ее язычков ограничивает осевое перемещение турбин. Прорези в боковинах выполнены таким образом, чтобы одна турбина была развернута по отношению к сопарной на 90° по фазе вращения. Это делается для того, чтобы выровнять крутящий момент турбинной пары за один оборот.

Планка фиксируется на тросе стяжкой *14*. Стяжка имеет плоский участок головки, при затяжке несколько вдавливающей трос и

обеспечивающей благодаря этому при всех рабочих обжатиях троса необходимый натяг, исключающий проскальзывание турбинной пары на тросе.

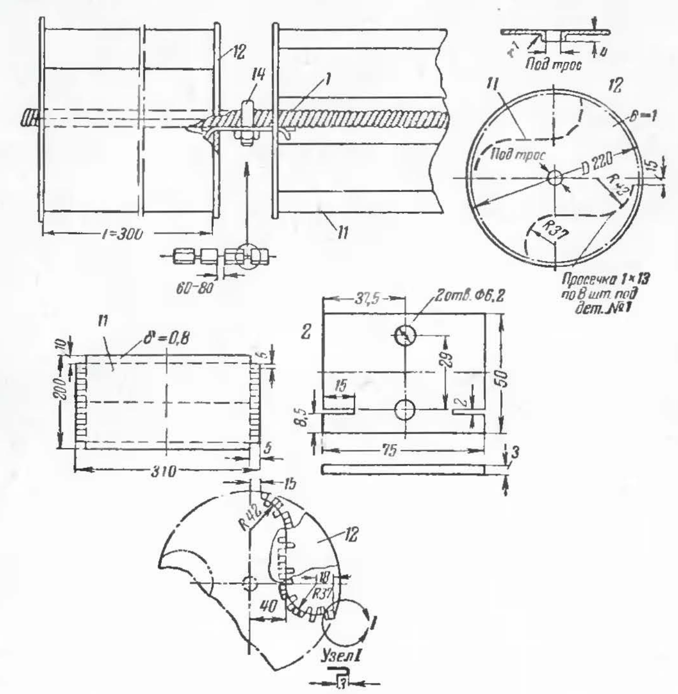


Рис. 16а. Раскрой для самодельной поперечной турбины гирляндной ГЭС.

4. ВЫБОР СТВОРА ДЛЯ УСТАНОВКИ ГИРЛЯНДНОЙ ГЭС

Перед проектированием ГЭС необходимо выбрать наиболее благоприятный для этого створ реки. Предпочтительнее вести работы на створе малой глубины 30—80 *см*. Желательно иметь высокие скорости (более 1,2 *м/сек*). Необходимо замерить скорость в нескольких сечениях по створу, а также ширину створа и определить его активную ширину, т. е. ту ширину, на которой имеются рабочие скорости потока.

Из этих условий гирлянда (или набор гирлянд) и проектируется.

1. Активная ширина реки. Активной шириной реки называется часть ширины реки, на которой располагается гирлянда.

Активную часть реки может лимитировать:

а) различная скорость течения между участками по ширине реки; на участках, где скорости на 40—45% меньше активной, турбины располагать не следует;

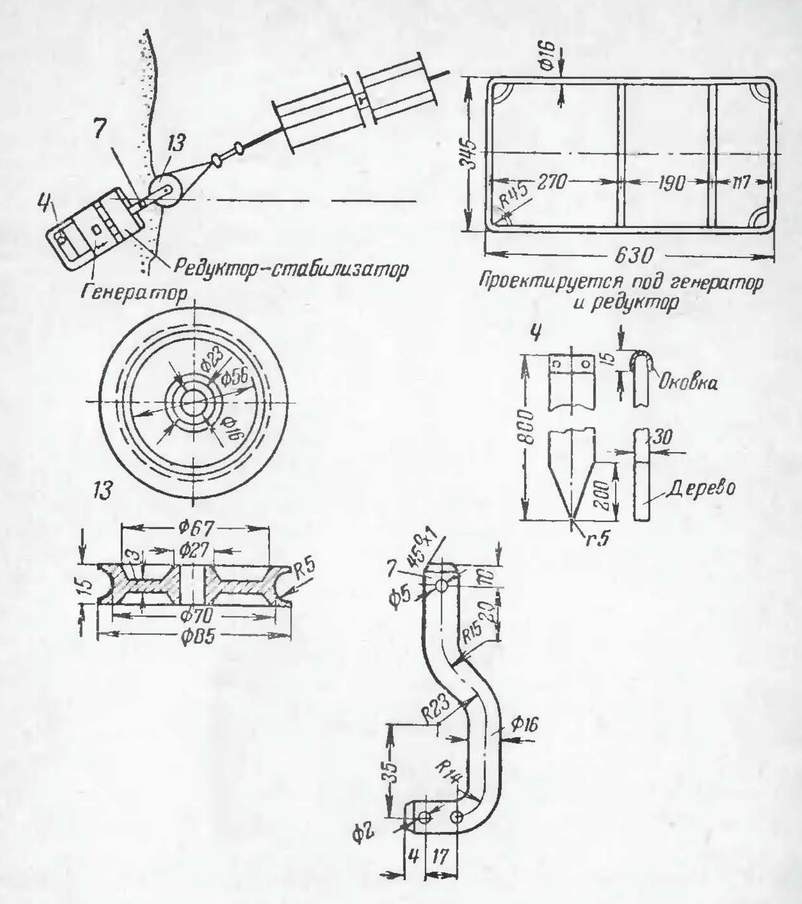


Рис. 16б. Детали для устройства генераторной опоры.

б) обмеление участка ширины реки в межень.

При круглогодичной работе ГЭС активная ширина лимитируется шириной створа в межень.

2. А к т и в н а я г л у б и н а. При меженных глубинах более 40—50 *см* может возникнуть необходимость уменьшения меженной глубины путем закладки части створа каменной грядой или другими сооружениями, создающими нужную скорость в створе.

3. М е ж е н н а я с к о р о с т ь т е ч е н и я. Она всегда может быть увеличена некоторым поджатием потока, путем устройства небольших набросок камнем. В межень это обычно не столь трудно сделать, так как глубины в большинстве случаев минимальные.

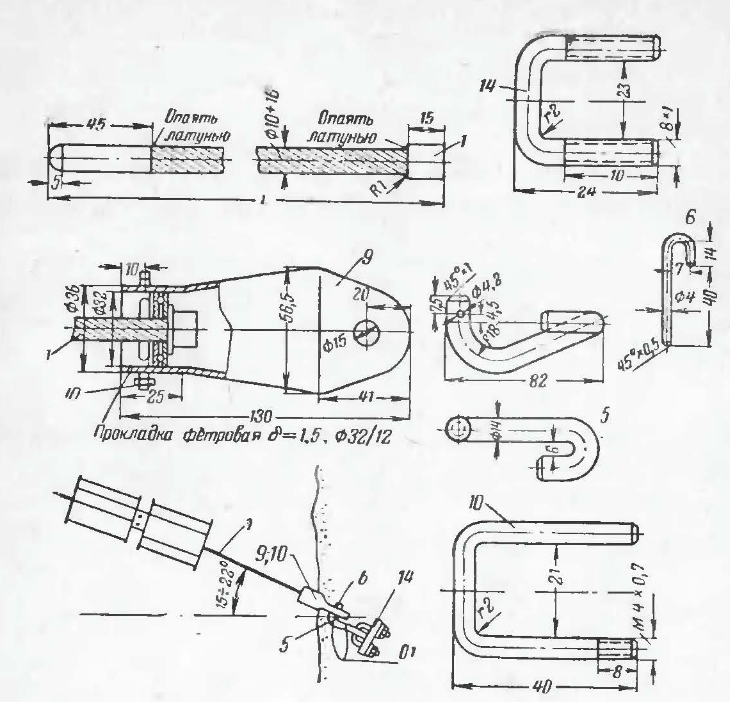


Рис. 16в. Детали для устройства свободной опоры.

4. А к т и в н а я д л и н а водного участка в метрах. Эта длина водного участка по течению, на котором могут быть размещены гирлянды ГЭС. Эта длина может быть непрерывной, может быть участками с различными уклонами и скоростями течения. При соединении мощности отдельных гирлянд береговой тросовой передачей увеличенные расстояния между гирляндами в силу незначительных уклонов водной поверхности не будут решающими, как это мы имеем при соединении гирлянд береговым трансмиссионным валом.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ ОДНОГИРЛЯНДНОЙ УСТАНОВКИ ПО ГРАФИКАМ

На рис. 17 представлена номограмма зависимости мощности, развиваемой роторами разных диаметров, от изменения скорости потока. Из этого графика видно, что для всех гирлянд поперечных турбин диаметром не более 30 *см* при скоростях течения 1—2 *м/сек* для привода генераторов с $n=300$ *об/мин* достаточно иметь простейшие одноступенчатые редукторы с передаточным числом $i=4$ и менее. Линии изменения мощности построены для гирляндных установок с использованием формулы (1), при этом активная длина $L=10$ *м*, а $\eta_н=0{,}4$.

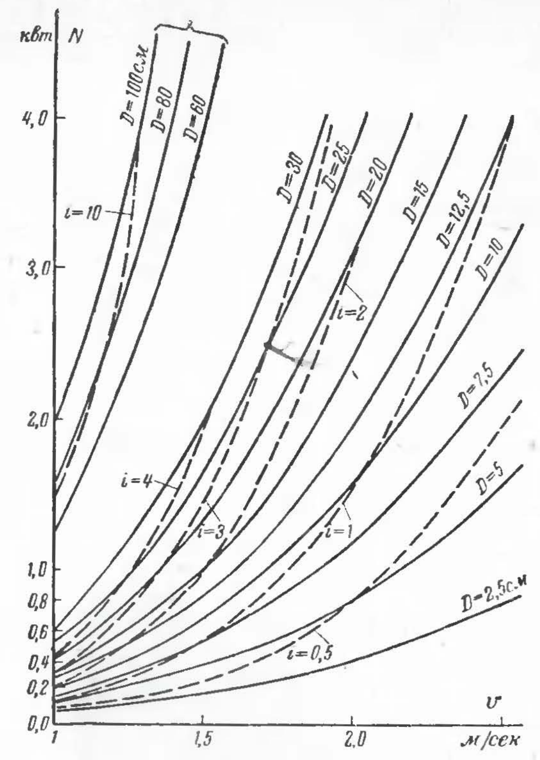


Рис. 17. Номограмма для определения мощности одной гирлянды длиной 10 *м* (номограмма составлена для диаметров в диапазоне 2,5—30 *см* для профиля поперечных турбин по рис. 1—профиль Е. С. Бирюкова; при потребной скорости вращения рабочей машины 300 *об/мин*. Мощность дана без учета потерь в передачах и генераторе).

Примечание. Диаметры турбин 60—100 *см* по гидророторным свободнопоточным установкам 30-х годов, предлагаемых Б. Б. Кажинским.

Для определения мощности для других длин гирлянды необходимо ввести множитель K в формулу (1):

$$K = \frac{L_1}{L},$$

где L_1 — длина расчетной линии, *м*; $L = 10$ *м*.

Передаточное число редуктора на генератор зависит от оборотности генератора. При составлении графика использовались данные

по генераторам, выпускаемым заводами «Электромашина» г. Харькова и г. Прокопьевска, имеющим 300 *об/мин*. При массовом распространении гидророторных электроустановок возникает и потребность в тихоходных генераторах для их обеспечения, которая безусловно будет удовлетворена, так как изготовление таких генераторов не представляет каких-либо трудностей.

При выборе редуктора степень редукции установки можно определить по формуле

$$i_1 = i\frac{n_1}{n}, \tag{8}$$

где i_1 и i — искомое и определяемое по номограмме передаточные отношения;

n_1 — паспортное число оборотов для устанавливаемого генератора, а $n = 300$ *об/мин*.

Определив среднюю скорость в створе установки v (*м/сек*), а также зная длину активной части гирлянды под турбинами (*м*) и диаметр D (*м*), по номограмме рис. 17 можно определить мощность установки по потоку — $N_{гир}$ — в киловаттах [см. формулу (1)].

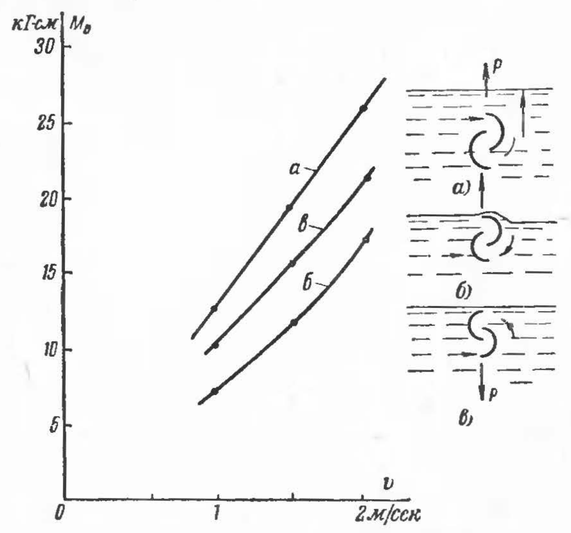


Рис. 18. Зависимость величины начального крутящего момента M_0 от расположения заборников турбины относительно набегающего потока и от глубины (позиция *а*, *б* и *в*) погружения турбины.

(расположение турбины—горизонтальное; профиль—Ворониных).

Под эту мощность и подбираем по графику (рис. 19,*б*) диаметр троса. В зависимости от длин активных частей и диаметра турбин гирлянды, следовательно, разных значений мощности диаметр тросов гирлянд может быть разным.

Если станция многогирляндная, то мощности всех гирлянд просуммируются.

Однако с зажимов генератора мы сможем снять лишь часть мощности, как это и следует из формулы (2).

Чем выше степень повышения оборотов на редукторе, тем ниже к. п. д. редуктора. В среднем при $i=4$ $\eta_p=0{,}9$, а при $i=15$ $\eta_p=0{,}7$.

При отклонении от номинальных мощностей и оборотов $\eta_г$ может падать весьма резко, например до $\eta_г=0{,}3$ (при $N=0{,}2\ N_{ном}$).

На величину мощности влияет относительное положение турбины в потоке. В каждом случае необходимо оценить расположение турбин относительно течения и относительно поверхности воды. Например, в случае, когда река замерзает и гирляндная линия должна продолжать работу под льдом, необходимо, чтобы линия была достаточно заглублена. Но бывают случаи, когда река не замерзает, однако ее глубины достаточно лишь для того, чтобы запроектированная линия работала только на поверхности.

Как известно, поперечная турбина создает подъемную силу в том случае, когда набегающий поток находит на заборники турбины, расположенные сверху, как это изображено на рис. 18,*а* и *б*, отрицательную подъемную силу, когда набегает на заборники, расположенные снизу.

Результаты испытания приведены на рис. 18. Мы видим, что у линии в погруженном положении крутящий момент возрастает более значительно при малых скоростях течения (на 80% при $v=1$ *м/сек*), чем при увеличенных скоростях течения. Имеет место и возрастание крутящего момента при набегании потока на заборники, расположенные снизу турбины. Величины этих приростов весьма значительны, чтобы их не учитывать. Гирлянда «на погружении» дает в среднем мощность, на 40% бо́льшую, чем та же гирлянда «на плаву» (при створе глубиной 0,6 *м* и диаметре гирлянды 0,2 *м*). Число оборотов в этом случае увеличилось на 20%. Возможность работы гирлянды «на погружение» нередко ограничивается рельефом дна и пониженными донными скоростями потока.

6. ПОДБОР ТРОСОВ НА ГИРЛЯНДНЫЕ УСТАНОВКИ

Трос гирлянды, находясь в растянутом состоянии, способен по скрутке прядей передавать крутящий момент, возникающий при вращении поперечных турбин в потоке. Как показали проведенные испытания, тросы, даже обычные, с органическими сердечниками, способны выдерживать на кручение моменты, на 20—30% бо́льшие, чем стержни из качественных сталей. Это объясняется тем, что тросы, как правило, изготовляются из проволоки с $\sigma_в=160\div200$ *кГ/мм²*, причем в сечении троса, на котором возникает максимальный крутящий момент, направление волокон идет как раз под углами, близкими к плоскости главных касательных напряжений.

Подбор тросов можно вести по формуле

$$M_{кр}=0{,}196R_s d^3, \qquad (9)$$

откуда

$$d^3=\frac{M_{кр}}{0{,}196R_s}. \qquad (10)$$

В этой формуле:

d — диаметр троса, *см*;

$M_{кр}$ — крутящий момент, создаваемый гирляндой; значение определяется по формуле (3), *кГ·м*;

R_s — расчетное напряжение на растяжение в тросе; R_s при длительной работе принимается равным 3 000—2 500 *кГ/см²* (30—25 *кГ/мм²*).

Зависимость между допустимыми рабочими крутящими моментами на тросовых валах и их диаметрами приведена на рис. 19. Тросы могут передавать крутящий момент, начиная с $\sigma_p=2{,}5$ *кГ/мм²*. Однако в этом случае при увеличении рабочего напряжения выше $R_s=10$ *кГ/мм²* начинает увеличиваться диаметр троса за счет значительного укорочения троса при скручивании. При $R_s=15$ *кГ/мм²* это укорочение составляет 12% длины троса. Вследствие этого при эксплуатации гирлянд можно загружать генератор лишь при таких углах провисания гирлянды (обычно 18—22°), когда σ_p — удельное натяжение троса — лежит в пределах $\sigma_p=3{,}5$—$5{,}5$ *кГ/мм²*.

Если в формуле (10) заменим $M_{кр}$ его значением из выражения (3), а рабочее напряжение троса примем $R_s=2\,500$ *кГ/см²*, то получим:

$$N_{гир}=0{,}075d^3\frac{v}{D}\ [квт]; \qquad (11)$$

здесь v — *м/сек*, D — *м*, d — *см*.

Формула (11) была использована для построения графиков подбора гирляндных тросов (рис. 19,*б*). Значение v/D — критерий быстроходности. Чем выше значение v/D при постоянной мощности, тем более тонкий трос может воспринимать нагрузку. Например (рис. 19,*б*), для передачи мощности в 20 *квт* при $v/D=4$ необходим трос диаметром 40 *мм*, при $v/D=14$ достаточен трос $d=27$ *мм*. Необходимо заметить, что скорость вращения гирлянды пропорциональна критерию быстроходности.

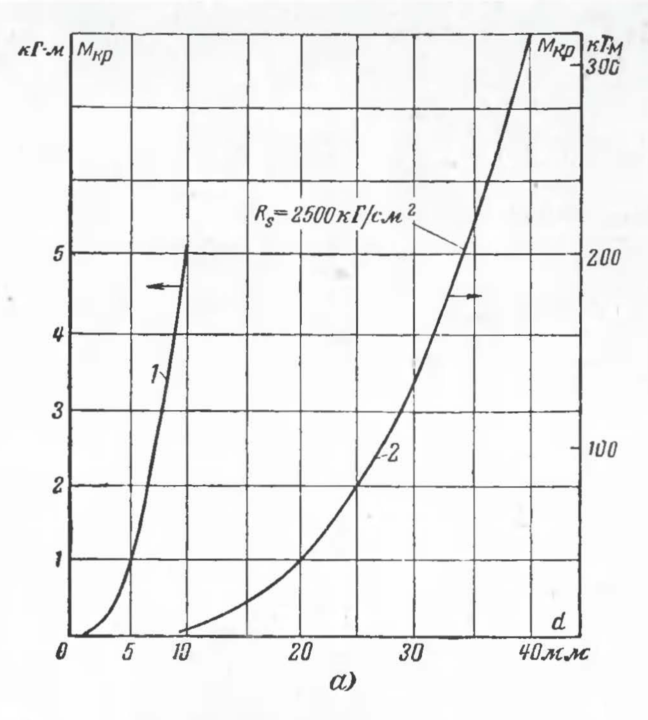
Графики дают возможность вести и «ступенчатый» подбор тросов на гирлянды. Эксплуатация составных гирлянд имеет то преимущество, что при резком повышении скорости потока над расчетной (вследствие дождей или весеннего паводка) мы имеем возможность снять один или несколько участков ее активной части; благодаря этому не будет резкого возрастания крутящего момента на гирляндном тросе и на регулирующих устройствах.

Для примера разберем членение гирлянды (рис. 20) с коэффициентом быстроходности $\frac{v}{D}=12$, мощностью 40 *квт*, длиной активной части гирлянды 60 *м*. В этом случае по номограмме (рис. 19,*б*) находим $d=35$ *мм*. Такой трос в пролете между опорами (127 *м*) весил бы 608 *кг*. Мы могли бы составить гирлянду из двух кусков, разбив активный участок гирляндного троса на части.

Тогда

$$d_1=35\ мм\ (на\ 40\ квт);$$

$$d_2=28\ мм\ (на\ 20\ квт).$$



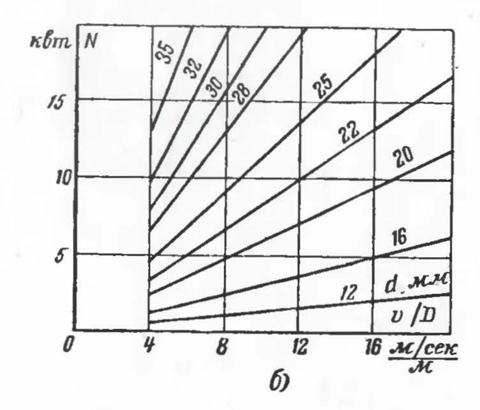


Рис. 19. Графики подбора тросовых трансмиссий (при $\sigma_р = 3{,}5$—7 $кГ/мм^2$).

а — график допустимых рабочих крутящих моментов на тросовых валах (*1* — проволока при $\sigma_В = 200$—240 $кГ/мм^2$; *2* — при $\sigma_В = 160$—200 $кГ/мм^2$); *б* — номограмма подбора диаметров гирляндных тросов для гирлянд поперечных турбин.

В приведенном на рис. 20 примере тогда бы нужно

троса $d_1 = 35$ *мм*—60 *м*, весом 288 *кг*;
троса $d_2 = 28$ *мм*—67 *м*, весом 205 *кг*

Итого 493 *кг*

Очень хорошо применять для гирлянд однопрядные тросы по ГОСТ 3062-55÷3065-55.

Если имеется проволока, то можно работой самой гирлянды свить трос ЛК-0 типа 1×3 из трех проволок. Однако имеются и многопрядные тросы, которые также хорошо работают на гирляндах. Эти тросы по ГОСТ 3065-55÷3073-55, а также по ГОСТ 3093-55÷3096-55. Неплохо работают на кручение и тросы по ГОСТ 7665-55,

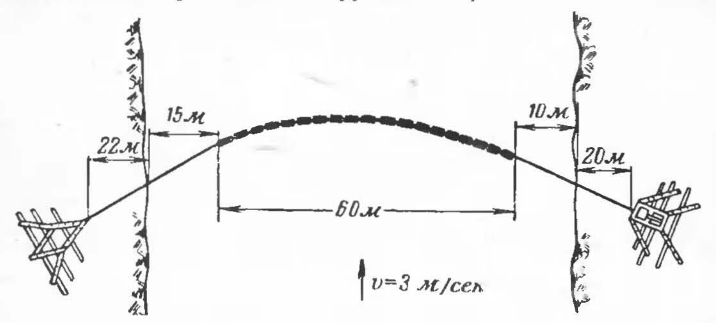


Рис. 20. Типовая схема установленной гирлянды с разметкой по створу ($D_{гирл} = 0{,}25$; $L_{гирл} = 60$ *м*; $N = 40$ *квт*; береговые опоры подсыпаны камнем ~30 *см*).

7666-56, 7680-55. Тросы бывают правого и левого направления свивки. Обыкновенные канаты, если не было специальных указаний заказчика, выполняются крестовой правой свивкой. Канаты, идущие на гирлянды, должны изготовляться из оцинкованной проволоки или протектироваться цинком. Для защиты канатов от коррозии рекомендуются следующие смазки: УН, ГОСТ 782-53, УНЗ 3005-51, 2712-52 (АМС-3), 5570-60, 4366-50, 1033-51.

Канаты, если не было специальной договоренности с заказчиком, выполняются длиной не менее 200 *м*. Канаты диаметром до 30 *мм* при весе 700 *кг* сдаются в бухтах, перевязанных в четырех местах.

Свивка гирляндных тросов из проволоки. При использовании троса определенной скрутки мы имеем возможность закрепить генераторную опору на том берегу, где она должна находиться по условиям эксплуатации, чаще на берегу, на котором расположен потребитель. Если трос стандартной правой свивки и выбранный берег правый, то гирлянда может быть поставлена лишь работающей на всплытие. В таком режиме гирлянда, например, не способна пропустить плавсредства с подводной осадкой более 0,5 *м*. Приходится думать о тросе левой свивки, чтобы обеспечить работу

гирлянды в режиме на погружение. Даже тросы типа ЛК заводского исполнения не могут быть ходом гирлянды перекручены на обратную свивку, так как при заводской скрутке таких тросов идет предварительное скручивание отдельных проволок. Часто в практике наблюдаются случаи, когда тросов необходимых диаметров нет в наличии. В этих случаях прибегают к скрутке тросов из проволоки. Такие тросы ходом гирлянды можно скрутить в нужную сторону и при необходимости перекрутить в обратную. Изготовление на местах нужных гирляндных тросов из проволоки расширяет возможности по строительству гирляндных ГЭС в отдаленных местностях.

Свивка гирляндного троса из проволоки ведется следующим образом. Одними концами проволоки пряди спаиваются или свариваются под свободный подшипник. В месте сварки проволока предварительно отпускается. Через каждые 0,5 *м* на прядь накладывается бандаж из трех — пяти витков тонкой контровочной проволоки. Прядь перематывается в бухту. Вторые концы проволок пряди также отпускаются и свариваются. Далее на несвитую прядь продевают поперечные турбины и закрепляют гирлянду в рабочем положении, опустив ее в реку. Затормозив вращение генератора, создают максимальный скручивающий момент, который и закручивает прядь в трос. При больших длинах гирлянд целесообразно делать составные тросы, соединяя их скобами. При свивке троса ходом гирлянды необходимо оставлять провисание гирлянды с углом $\varphi = 22-25°$. В тот момент, когда провисание уменьшится и угол φ станет 11—13°, у опор необходимо провести сброс гирлянды; обеспечив угол $\varphi = 22-25°$, продолжают свивку. Необходимо в конце свивки при установке гирлянды в рабочее положение обеспечить углы троса у береговых опор $\varphi = 18-23°$.

7. ДАННЫЕ ПО РАСЧЕТУ БЕРЕГОВЫХ ОПОР

Подбор упорных подшипников береговых опор. На береговые опоры по тросу передается осевое усилие

$$X = \frac{P}{\sin \varphi} \; [кГ], \qquad (12)$$

где P — удельное лобовое сопротивление гирлянды, *кГ/квт*;

φ — угол провисания гирлянды; $\varphi = 18 - 23°$

Значение P может быть определено из вышеприведенных формул (3) и (5), а при определении входящих в формулы коэффициентов

$$P = 112 \frac{M_{кр}}{v}. \qquad (13)$$

Подставив значение P из формулы (13) в (12) и приняв $\sin \varphi = 1/_3$, получим значение осевого усилия, которое передается по тросу:

$$X = 336 \frac{N_{гир}}{v} \; [кГ]. \qquad (14)$$

Величина усилия, полученная по формуле (14), может служить для оценочных расчетов при подборе диаметров тросов и упорных подшипников.

X соответствует условной нагрузке Q при расчете подшипников на долговечность по каталогу шарикоподшипников. Так как скорость вращения гирлянды сравнительно мала (60—200 *об/мин*), то расчетная долговечность упорных шарико- и роликоподшипников береговых опор получается крайне высокой, порядка 15—50 лет. Для береговых опор хорошо пользоваться упорными подшипниками по ГОСТ 333-55 (7202-7211, 7506-7512, 7302-7313, 7604-7612), ГОСТ 6874-54 (8100-8112, 8200-8212, 8305-8312), тип 6700 (67203-67512), а также ОСТ 7221-39 (38202-38215).

Зная величину X, можно определить количество свай — деревянных кольев. Минимальное количество кольев A определяется из формулы

$$A = \frac{X}{200 k_в} k_г. \qquad (15)$$

Эта формула действительна в том случае, если колья забиты к подопорным доскам. Если же колья забиваются без вкапывания подопорных досок, то

$$A = \frac{X}{50 k_в} k_г. \qquad (16)$$

Величина $k_в$ для кола $l = 700$ *мм*, $\varnothing = 28$ *мм* принята за $k_в = 1$. При коле $l = 500$ *мм*, $\varnothing = 20$ *мм*, $k_в = 0{,}5$. Для гравия $k_г = 1$; для песка $k_г = 4$.

Необходимо заметить, что, исходя из условий работы кольев «на выдергивание» из грунта, менее шести кольев на опору ставить не рекомендуется.

8. КОЛИЧЕСТВО ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОДНОГИРЛЯНДНУЮ ГЭС

После того как определены основные параметры гирлянд, суммарная активная длина гирлянд L и диаметр гирлянд D, не представляет затруднений найти количество основных материалов, идущих на строительство установки:

а) кровельного железа S, идущего на поперечные турбины,

$$S = 3DL \; [м^2];$$

б) количество троса (ориентировочно) гирляндного

$$L_{тр} = 1{,}5L \; [м].$$

При значительном удалении от берега свободной опоры длина дополнительного оттяжного троса может достигать $1{,}2L$; его диаметр обычно в 2 раза менее основного.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПРАВИЛА ПОСТАНОВКИ ГИРЛЯНД

9. ПОРЯДОК ПОСТАНОВКИ ГИРЛЯНД

Формулы, приведенные выше для определения мощности, разрывного усиления, скорости вращения гирлянд, содержат опытные коэффициенты, достигнутые при использовании промышленного изготовления поперечных турбин и при тщательной постановке гирлянды. Предлагаемый порядок постановки гирлянд следует тщательно соблюдать, так как во многом от этого зависит качество работы энергетической установки.

1. Вкапываются береговые опоры.

2. Располагаются свободная и генераторная опоры.

3. К свободной опоре прицепляется гирлянда.

4. Гирлянда растягивается по створу над водой с целью примерки и регулировки длины троса. При примерке могут обнаружиться следующие неполадки:

а) Трос гирлянды слишком короток и не доходит до ролика даже в случае предельного сближения береговых опор. В этом случае берется второй кусок троса, перекидывается через блок и стягивается на гирляндном тросе стяжками, как это показано на рис. 21,*в*; в ряде случаев имеет смысл для сближения опор делать насыпные площадки береговых опор.

б) Трос слишком длинен. В этом случае он либо сменяется на более короткий, либо береговые опоры удаляются от берегов на нужные расстояния, если такая возможность имеется. Излишек длины троса укладывается, как показано на рис. 21,*в*.

5. Определяется правильность взаиморасположения активной части гирлянды относительно активной части потока. При этом могут обнаружиться следующие случаи:

а) Активная часть гирлянды смещена относительно рабочего потока в сторону. Это устраняется перестановкой на тросе турбинных пар.

б) Активная часть гирлянды значительно меньше, чем ширина рабочего потока. При желании получения больших мощностей с гирлянды количество турбинных пар может быть увеличено.

в) Активная длина гирлянды оказалась больше, чем активная ширина протока. Если не имеется возможности увеличить активную ширину протока путем выравнивания дна и береговой линии, можно снять излишние пары турбин и для достижения необходимой мощности при той же скорости течения увеличить число гирлянд. Однако часть турбин, выходящая за активную ширину потока, может значительно увеличить мощность гирлянды путем создания подпора.

6. Гирлянда закрепляется на блоке генераторной опоры и опускается на воду. При этом могут быть следующие случаи:

а) Углы между линией створа и направлением троса у опоры укладываются в 18—35°; тогда сбрасывают трос свободной опоры, ослабляют стяжки троса и генераторной опоры и уменьшают или увеличивают на нужную величину длину троса.

б) Трос с входным валом редуктора составляет угол, больший 5—7°. В этом случае сбрасывают гирлянду и переставляют опору (если опора несамоустанавливающаяся или регулируемая).

в) При постановке гирлянды «на погружение» она может иметь случаи задевания об резко выступающие камни. В этом случае необходимо либо убрать эти камни, либо сместить гирлянду, если почему-либо не удается убрать эти препятствия. При работе гирлянды, работающей «на всплытие», находиться можно лишь перед гирляндой. Это правило нельзя нарушать во всех случаях работ по постановке гирляндных установок.

10. ПОСТАНОВКА ГИРЛЯНД ПРИ ГЛУБИНАХ ВОДЫ В СТВОРЕ НЕ БОЛЕЕ 0,6 *м*

При таких глубинах гирлянда берется на руки, подсоединяется к одной из опор и растягивается над створом. Пролеты гирлянды между монтажниками не должны превышать 3,5 *м*. Далее гирлянда подсоединяется ко второй опоре и по команде сбрасывается на воду одновременно всеми монтажниками. Постановщики должны находиться перед гирляндой. Этот способ постановки нами применялся многократно. Ориентировочно постановочная слабина троса должна обеспечивать углы провисания 35°. Воспринимая крутящий момент турбин, гирляндный трос укоротится до углов провисания 28—20°, причем за счет его обжатия при скручивании под растягивающим усилием 4—5 *кГ/мм*² его диаметр практически останется неизменным.

11. ПОСТАНОВКА ГИРЛЯНД ПРИ ГЛУБИНАХ ВОДЫ В СТВОРЕ БОЛЕЕ 1 *м* И ШИРИНЕ ВОДНОГО ПОТОКА БОЛЕЕ 25 *м*

Перетяжка гирлянд с помощью плавсредств. При глубинах реки более 1 *м* на скоростях течения более 1 *м/сек* человек устоять в воде на месте не может. Приходится работать, зацепившись за трос, перекинутый через поток, или пользоваться лодками или плотами из заостренных бревен, зацепленных за этот трос.

На протоках шириной более 25 *м* с глубиной более 1 *м* представляет значительную трудность перебросить через поток трос (линь), необходимый для затаскивания гирлянды. Между тем, если взять бревно длиной 2—2,5 *м*, закрепить на нем петлю таким образом, чтобы угол между направлением потока и осью бревна составлял 60°, и за эту петлю привязать его к береговой опоре, то такое бревно будет иметь тянущую силу, двигающую его к противоположному берегу (рис. 21,*а*). Эта сила y — одна из составляющих Q полного сопротивления бревна; вторая составляющая x — это сила сопротивления бревна, она уравновешивается реакцией береговой опоры. Если за бревно завязать линь, то конец линя можно переправить на другой берег. Для увеличения лобовой силы бревно со стороны набегающего потока прострагивают топором до создания плоскости.

Отпустив стяжку *1* и получив угол между направлением скорости и бревном 90° или несколько более, что достигается перетягива-

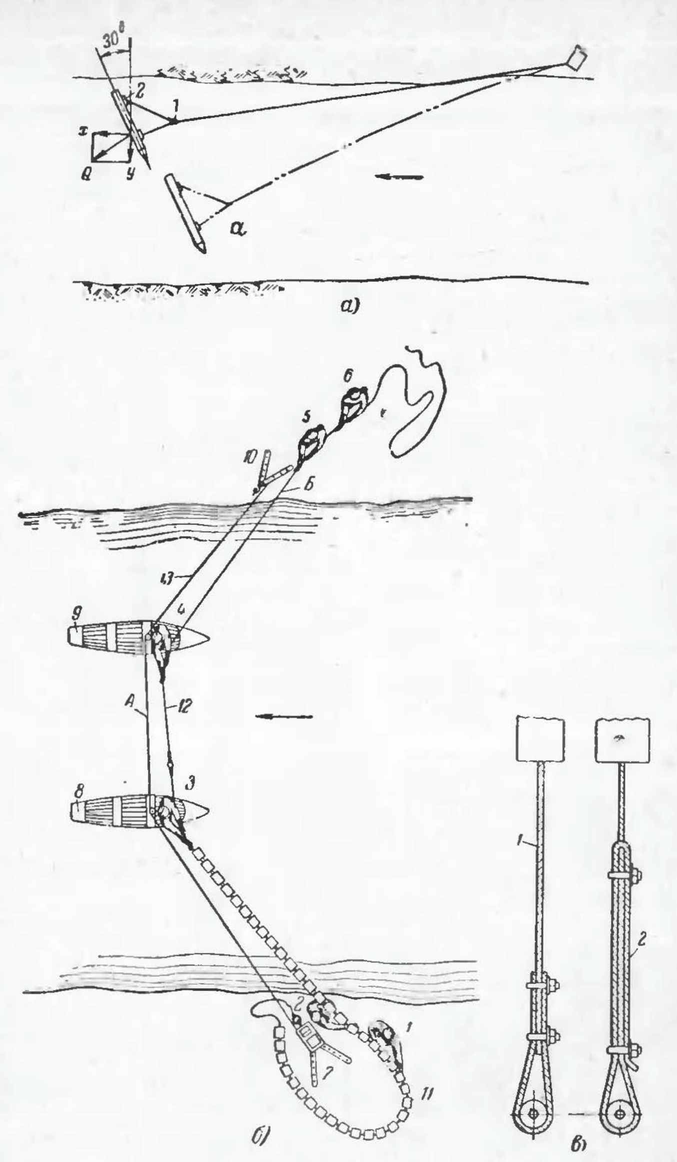


Рис. 21. Установка гирлянд в потоке.

а — устройство для переправы троса; *1* — петля; *2* — узел закрепления бревна; *б* — схема перетяжки гирлянды; *1—6* — команда, перетягивающая гирлянду; *8—9* — лодки; *10* — свободная опора; *11* — гирлянда; *12* — бечева, *13* — трос закрепления плавсредств; *в* — закрепление конца троса; *1* — при недостаточной длине троса; *2* — при излишней длине троса.

нием петли (увеличивая стяжку *а*), мы заставим бревно двигаться в обратную сторону. Таким образом, мы получаем средство для сообщения между берегами. Такая связь крайне необходима как в период подготовки станции, так и во время ее постановки. Обычно такая переправа служит для перевозки опор и деталей установки, а также команды, участвующей в постановке ее. Для этого можно сбить три-четыре заостренных бревна длиной 3—4 *м* в плот и переправлять на них рабочих. При постановке ГЭС трос устройства для переправы одним концом крепят к береговой опоре.

На широких реках глубиной более 1 *м*, если нет других, более приемлемых в конкретных условиях способов (например, с помощью моторных катеров и т. д.), постановка гирлянд ведется следующим образом:

устанавливается опора, предназначенная для берега, с которого начинается постановка электростанции: к этой опоре крепится трос устройства для переправы;

монтируется устройство для переправы и опускается на воду; устройство следует держать привязанным к берегу; на противоположный берег перевозятся рабочие, монтирующие ГЭС;

переправляется и устанавливается береговая опора противоположного берега;

через поток перебрасывается трос (линь) диаметром 2,5—4 *мм*, крепящийся за опоры обоих берегов и имеющий угол прогиба от линии, проходящей через опоры 25—30°; лучше его закреплять параллельно с тросом переправы к опоре и к переправному бревну, а на другом берегу, отвязав конец троса от бревна, подтягивать его к опоре противоположного берега и закреплять на ней;

к тросу *А* по рис. 21,*б* прикрепляются равномерно расставленные по створу несколько лодок (плотов с оструоточенными концами бревен), на которых располагаются монтажники. Расстояния между плавсредствами не должны превышать 12 *м*. Трос *А* натягивается таким образом, чтобы он в пролетах не касался уреза воды.

С помощью переправы переправляют и располагают рядом с тросом *А* измерительный трос *Б*. На тросе *Б* отмечают места оконцовки гирлянды, а также расстояния от оконцованной активной части гирлянды до точек закрепления гирляндного троса в береговых опорах. При этом измерительный трос располагается таким образом, чтобы он образовывал рабочий прогиб троса гирлянды.

Отмеченную часть измерительного троса перетягивают на тот берег, где находится разобранная гирлянда. Ее монтируют на берегу по разметке с измерительного троса. Гирлянда может быть собрана из одного или нескольких кусков троса, стянутых скобами в месте соединения.

Последнее особенно полезно, когда гирлянда имеет значительную мощность, и в части, прилегающей к генератору, может быть значительно больший диаметр троса, чем на части троса гирлянды, расположенной со стороны свободной береговой опоры.

С помощью монтажников на лодках (плотах) и на берегах перемещением второго троса *В* над водой протягивают трос, (а лучше веревку) диаметром 8—12 *мм* для затягивания гирлянды На всем протяжении потока веревка не должна касаться воды.

Гирлянду закрепляют за веревку и начинают ее перетягивание на другой берег. При этом конец гирлянды должен быть закреплен

за опору того берега, с которого начинается перетягивание гирлянды.

При перетягивании нельзя допускать касания воды провисшими частями гирлянды, для чего необходима согласованная и внимательная работа монтажников.

В случае, если при соприкосновении гирлянды с водой один из монтажников на плавсредствах по каким-либо причинам выпустил трос гирлянды из рук, гирлянда должна быть немедленно переброшена через плавсредства. После установления гирлянды по течению реки ее затяжку надо вести заново.

Необходимо отметить, что на противоположном берегу конец троса перетяжки должен быть зацеплен за опору. С протягивания этого конца вновь начинают постановку гирлянды. После того как гирлянда перетянута, ее второй конец закрепляют в узел свободного подшипника береговой опоры, а затем сбрасывают с плавсредств.

В начале работы гирлянды, в течение первых 10 *мин* работы, необходимо убедиться в надежности закрепления опор, а затем, прикрыв их фанерой, сверху засыпать слоем грунта в 20—30 *см*. Если наблюдается «сползание» опоры, необходимо срочно произвести сбрасывание гирлянды, усилить крепление опор и лишь после этого приступать к повторным постановкам.

Постановка гирлянды с вспомогательного троса, подвешенного над створом. Этот метод постановки впервые был применен институтом «Гипросельэлектро» в октябре 1960 г. на створе р. Москвы в районе ст. Тучково (деревня Петрово). Ширина створа 45 *м*. Постановка велась глубокой осенью в условиях гололедицы. Над створом был натянут трос на высоте 1—2 *м* над урезом воды. Этот постановочный трос имел диаметр 4,5 *мм*. Один конец этого троса был закреплен на свае, вбитой в грунт, а второй намотан на ворот. Через створ был перекинут еще один трос такого же диаметра для затаскивания на створ гирлянды. Сама гирлянда по мере ее перетягивания к другому берегу за трос для затаскивания гирлянды через каждые 1,5—2 *м* ее длины подвешивалась за гирляндный трос к вспомогательному тросу. Эта подвеска велась крючками, выполненными из мягкой железной проволоки толщиной 3 *мм*. Перетянутая через створ гирлянда была отцеплена от троса для затаскивания гирлянды и подсоединена концами гирляндного троса к генераторной и свободной опоре. Несколько ослабив воротом вспомогательный трос, довели гирлянду до частичного соприкосновения с потоком. Под действием лобовой силы сопротивления части гирлянды поддерживающие гирлянду крюки разгибаются, оставаясь на вспомогательном тросе, и гирлянда встает в рабочее положение. Крюки используются при последующих постановках гирлянды.

Постановка с помощью свободной опоры — ворота. Этот метод был предложен В. Н. Кангиным и успешно применен при постановке гирляндной ГЭС на р. Тверце для освещения деревни Порожки. Эта ГЭС была выполнена Профессиональным техническим училищем № 3 г. Калинина (в настоящее время после ряда переделок ГЭС в деревне Порожки является опытно-показательной установкой института «Гидропроект»). Опора ворота была переправлена на другой берег плотом, имеющимся в деревне. С плотом на другой берег был перетянут также конец тонкого троса,

который впоследствии был закреплен за ворот. Гирлянда была подсоединена к редукторной опоре, находящейся у берега несколько выше меженного уровня, и растянута по берегу вниз по течению. Генератор в этой ГЭС имел привод от редуктора посредством трансмиссии тросом длиной 40 *м* и был вынесен за паводковый уровень.

Ко второму концу гирляндного троса за обойму свободного подшипника был подсоединен второй конец троса, намотанного на ворот. Сматывая ворот (с диаметром барабана 160 *мм*) за ваги (имеющие плечи по 125 *см*) усилием 2 чел., гирлянда турбин в 35 пар ($D=200$; $L=300$ *мм*) при скорости потока 1,2 *м/сек* была затянута на рабочий створ шириной 47 *м* до среднего угла провисания $\varphi=29°$. Необходимо заметить, что при этом методе постановка до подтягивания гирлянды к рабочим углам провисания она должна вращаться на холостом ходу генератора. Подключать нагрузку разрешается лишь когда гирлянда имеет рабочие углы провисания. Это вызвано тем, что без наличия соответственного растягивающего усилия трос под действием скручивающей нагрузки получает значительные укорочения с увеличением диаметра. Гирлянда перестает быть разборной, т. е. уже не может быть перебрана. Кроме того, при увеличенных углах провисания наблюдаются более значительные угловые рабочие перемещения между турбинами, что уменьшает работоспособность как гирляндного троса, так и узлов сочленения между турбинами. Сброс гирлянды здесь может быть проведен как с помощью узла сброса, так и снятием стопорения ворота. В последнем случае повторная постановка гирлянды весьма проста, необходимо лишь выбрать воротом постановочный трос до определенных углов провисания гирлянды.

12. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТАЮЩИХ ГИРЛЯНДНЫХ УСТАНОВКАХ

Генераторная (машинная) часть гирляндных установок, а также свободная опора и узел свободного подшипника с маховиком должны иметь ограждения.

Купание вверх по течению в пределах не более 2 длин гирлянды и вниз по течению—менее 1,5 длин гирлянды от места установки ГЭС запрещено.

Перед гирляндой, работающей «на плаву», на расстоянии 10—15 *м* от нее должен быть поперек реки натянут пеньковый трос диаметром 10—14 *мм*, снабженный плавунами. При сносе на гирлянду пострадавший имеет возможность ухватиться за этот трос и по нему выйти на берег. Перед гирляндой, работающей «на погружение», такого троса не натягивается. В случае выноса на гирлянду, работающую на поверхности, надо стремиться проплыть ее в положении, перпендикулярном к гирлянде.

Работы у генератора допускается вести лишь при застопоренной гирлянде и в дневное время.

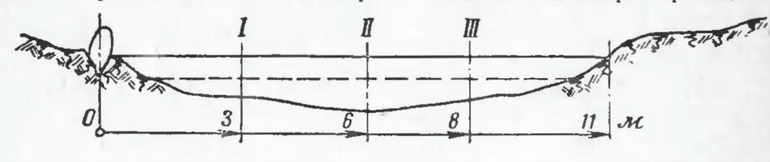
При работе в сети ГЭС необходимо руководствоваться «Правилами работ в электросетях с напряжением до 1 000 *в*».

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

СТАБИЛИЗАЦИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ГИРЛЯНДНЫХ ГЭС

Скорость свободного потока на большинстве рек от паводка к межени меняется весьма резко, особенно на участках с малыми уклонами; она возрастает и после выпадения осадков. На перекатах и участках со значительными уклонами (более 0,5%), там, где меженные скорости составляют более 1 *м/сек*, паводковая скорость увеличивается не столь резко по сравнению с меженной, обычно на 30—40% (средняя скорость по глубине).

Нашими измерениями скорости на одном из таких створов на р. Москве, 400 *м* выше деревни Петрово, обнаружено, что донный слой воды толщиной 300—400 *мм* практически даже не изменяет скорости течения между весенними и меженными замерами (рис. 22). Эти замеры сходятся с гидрологической практикой замеров на других створах. Установки на поперечных турбинах при работе «на погружение» не требовали никаких стабилизирующих устройств по скоростному напору. Режим «на погружение» — выгодный режим работы гирляндных ГЭС. В этом режиме на том же створе гирляндные ГЭС на поперечных турбинах дают бóльшую на 30—40% мощность, чем в режиме «на плаву», при условии мелких створов с глубиной менее 0,7 *м* и ровном дне.



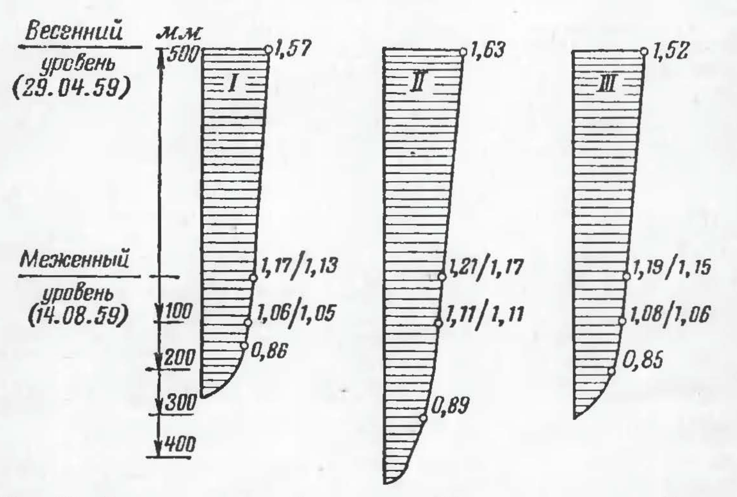


Рис. 22. Замеры скоростей в створе 600 *м* выше деревни Петрово (ст. Тучково), 2-й проток от правого берега на р. Москве.

Однако могут встретиться случаи, когда гирлянды из поперечных турбин должны работать «на всплытие». Этот случай может быть, например, на южных реках, когда дно имеет резко выраженные неровности в рельефе. В этом случае при использовании гирляндных установок можно ограничиться весьма простыми регулирующими устройствами. Например, в насосных установках достаточно установить в магистрали за насосом клапан на рабочее давление магистрали. Тогда вне зависимости от повышения скорости потока в магистрали будет постоянное давление. Весьма просто решается вопрос и при использовании генераторов постоянного тока, могущих быть снабженными стабилизаторами напряжения, которые вне зависимости от оборотов генератора и нагрузки в заданных пределах поддерживают напряжение. Здесь хороша система Езерского, которая используется для автономного освещения железнодорожных вагонов. Хорошее решение стабилизации напряжения дал О. Е. Глебов: в его генераторах якорь выдвигается из статора центробежным регулятором. Такие установки рационально использовать для бытовой нагрузки.

Так как мощность поперечных турбин зависит от куба скорости, то даже снижение рабочей скорости потока на 20% может вызвать снижение мощности ГЭС почти в 2 раза. Это вызовет падение оборотов, если нагрузку не снизить в 2 раза. Без проведения специальных мероприятий не приходится думать о получении качественной гарантированной электроэнергии. Это обстоятельство, пожалуй, было одним из основных препятствий к внедрению свободнопоточных ГЭС. Например, отсутствие эффективных стабилизирующих устройств заставило прекратить испытания кубанских свободнопоточных ГЭС (1930 г., Наркомзем). Эти станции работали в приповерхностном слое воды. В технической литературе неизвестно ни одной свободнопоточной установки, снабженной стабилизатором оборотов.

Стабилизация скорости вращения генератора на гирляндных установках может быть осуществлена, например, на следующих принципах:

1. Работа стабилизирующих устройств за счет изменения крутящего момента гирлянды.
2. Работа стабилизирующих устройств за счет изменения натяжения троса гирлянды при колебаниях скорости потока.
3. Работа регулирующих устройств, реагирующих на отклонения оборотов генератора свыше допустимых пределов.

Для мелких установок мощностью до 1 *квт* стабилизацию скорости вращения генератора в заданном диапазоне скоростей потока можно вести вариаторным фрикционным редуктором [Л. 4]. Такой стабилизатор весьма прост по конструкции. Имеется и другой вид стабилизатора [Л. 4], отбирающего избыточную мощность гирлянды на привод шестеренчатого насоса. Этот вид стабилизатора может быть использован в тех случаях, когда необходимо одновременно с освещением вести водоснабжение объекта потребления. Такой вид стабилизатора можно использовать и в виде аккумулятора гидравлической энергии в часы пиковых нагрузок по освещению. Имеется способ стабилизации нагрузки включением в сеть балластного элек-

тродвигателя, потребляемая мощность которого меняется в зависимости от нагрузки сети. Мощность этого электродвигателя также может быть использована для водоснабжения.

Воздействия в широком диапазоне разновидностей гирляндных ГЭС могут быть осуществимы, например, следующими устройствами:

1) вариационной передачей [Л. 4];

2) центробежным регулятором на валу генератора, воздействующим на тормозное устройство на валу генератора;

3) при помощи привода с электромагнитными муфтами скольжения.

4) гидравлическим регулятором при редукторе оборотов [Л. 4];

5) гидродинамическими муфтами на тросе рабочей гирлянды;

6) электрическим способом, путем погружения водяного реостата или регулированием тока обмоток генератора или включением в сеть генератора балластного электродвигателя. Могут иметь место и другие принципы и методы воздействия и сочетания этих способов.

К сожалению, почти все указанные способы еще не нашли конструктивного разрешения. Исключением являются приводы с электромуфтами скольжения. Такие приводы выпускаются, например, Харьковским совнархозом (завод «Электростанок») на мощность от 0,2 до 4,5 *квт* при 1 500 *об/мин*. Эти «приводы с асинхронными муфтами скольжения серий ПМС и ПСМЗ» разработаны ВНИМС и НИИ Древмаш. Приводы такого же типа авторегулируемые, разработанные в других отраслях, применяются в текстильной промышленности, в металлорежущих станках, экскаваторах, дизельных установках и т. д. Диапазон мощностей, на котором в настоящее время работают такие приводы, начинается с муфт на десятки ватт и кончается тысячами киловатт (для электровозов). Этот привод в гирляндных установках универсальный. Он позволяет выдерживать скорость вращения генератора до ±1,5%, несмотря на изменения скоростного напора и электрической нагрузки.

Схема стабилизации ГЭС с электромагнитной муфтой скольжения. Стабилизатор выполнен на береговой опоре тремя агрегатами (рис. 23), муфта скольжения *3*, центробежный контактный регулятор скорости вращения *4* с ручной настройкой скорости вращения *5* и пригенераторной коробкой, включающей: трансформатор ТПБ-100 (ТПБ-200) 380/36 *v* или 220/36 *v*, селеновый выпрямитель типа АВС-60-38 или АВС-60-41, проволочное сопротивление ПЭВ-К-30, (30 *вт*, 150 *ом*) и сопротивление типа ВС (5 *вт*, 15 *ком*).

Центробежный регулятор в случае привода ПМС включается через шкивную передачу с передаточным числом $i=2$; в этом случае обеспечивается жесткость регулировки выпускаемой конструкции в диапазоне 170—1 350 *об/мин* для ведомой части муфты. В нашей схеме при непосредственном подсоединении центробежного регулятора скорости к валу генератора его рабочий диапазон начинается от 350 *об мин* и заканчивается 2 700 *об/мин* вала генератора. В основном на гирляндных ГЭС почти все генераторы работают как раз в этом диапазоне оборотов.

Трос гирлянды *1* (рис. 23) подсоединен к редуктору *2*, от выходного вала которого через скользящую муфту *3* и приводится генератор *6*. К хвостовику вала генератора подсоединен центробежный

регулятор *4*. Пусть центробежный контактный регулятор отрегулирован на скорость вращения *n об/мин*, а выходной вал редуктора имеет под нагрузкой n_1 *об/мин*, причем $n_1>n$. Как только генератор достигает скорости вращения *n*, контакты центробежного регулятора размыкаются.

Электрическая схема такого стабилизатора состоит из двух цепей. Цепь, питающаяся от двух фаз сети, включает регулируемое сопротивление C_1 150 *ом* (на 30 *вт*), первичную обмотку понижающего

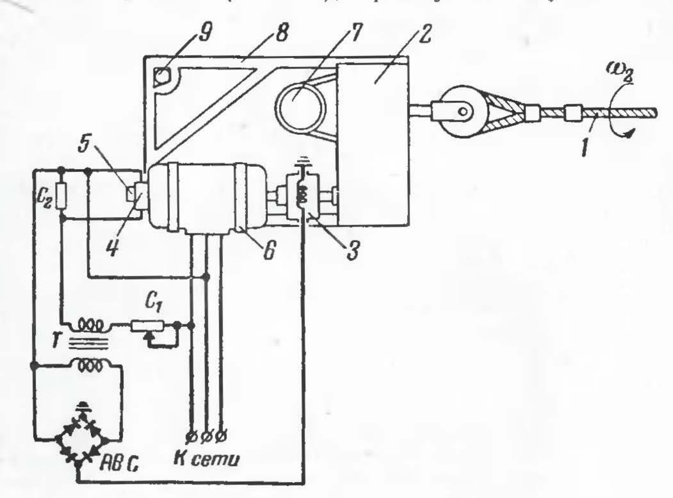


Рис. 23. Схема генераторной опоры со стабилизирующей муфтой скольжения.

1 — трос гирлянды; *2* — редуктор; *3* — электромуфта скольжения; *4* — центробежный регулятор; *5* — настройка регулятора; *6* — генератор; *7* — винтовой якорь; *8* — рама; *9* — кол.

трансформатора, например (если сеть 220 *v*) 220/36 *v* и постоянного сопротивления C_2 (15 *ком* на 5 *вт*); в эту же цепь включен и центробежный регулятор *4*. При замыкании контактов центробежного регулятора (он настроен на скорость вращения *n об/мин*) цепь замыкается напрямую, минуя сопротивление C_2. По цепи проходит максимальный ток возбуждения, который может быть подрегулирован реостатом C_1. При размыкании контакта центробежного регулятора вследствие значительного сопротивления цепи за счет сопротивления C_2 сила тока в цепи будет многократно меньшей. Вторичная обмотка трансформатора, обычно на 36 *v*, плечами подключена к выпрямительному контуру, например селеновому, один из свободных концов контура заземлен, а с противоположного снимается потенциал на возбуждение электромагнитной муфты. Ток возбуждения передается через кольцевой коллектор. Обмотка возбуждения муфты по этой схеме также заземлена, т. е. цепь возбуждения замкнута через корпус.

Работа регулятора (по схеме рис. 23) происходит таким образом. Как только обороты генератора упадут ниже n_1 (на 0,5—1%),

контакты центробежного регулятора замкнутся, трансформатор наведет максимальный ток в цепи вторичной обмотки и на обмотку электромагнитной муфты будет подано полное возбуждение. Проскальзывание муфты будет минимальным, а потому обороты генератора начнут расти. Как только скорость вращения генератора превысит *n об/мин*, контакты центробежного регулятора разомкнутся.

Сопротивление цепи первичной обмотки подобрано так, чтобы генератор мог вращаться на рабочих оборотах лишь на холостом ходу; поэтому при рабочей нагрузке с включенным в цепь C_2 обороты начнут падать до тех пор, пока контакты центробежного регулятора не замкнутся. Регулировкой сопротивления C_1 можно добиться срабатывания контактов в каждый период, через период, через два периода генератора и т. д., так что при этом типе стабилизации частота остается практически постоянной. На рис. 24 мы приводим типовую характеристику $n=f(M_{кр})$ установки с муфтой скольжения и регулятором скорости.

Принятая схема стабилизации имеет следующие достоинства:

1. Данная схема дает возможность не брать излишних аварийных запасов прочности при работе тросов на скручивание, так как излишний момент сбрасывается муфтой.

2. Дает возможность при надобности отключить генератор, сняв возбуждение с муфты.

3. Позволяет осуществлять довольно точную стабилизацию по частоте ±1,5%, что на малых установках другими способами пока недостижимо.

Для поддержания постоянного напряжения при растущей нагрузке в сети можно использовать блоки компаундирования, которые обеспечивают автоматическое регулирование напряжения в пределах 100±5% от нормального значения при изменении нагрузки от 0 до номинальной величины и при значениях коэффициента мощности от 1 до 0,8.

При необходимости более точного регулирования напряжения к генератору можно придать блок корректора, который обеспечивает автоматическое регулирование напряжения в пределах ±2%. Такие блоки выпускаются с генераторами Ереванским заводом электрооборудования. Их цена составляет в среднем 9—12% от цены генератора, например на генераторе ЕС-52-4 сф блок имеет габариты 65×365×200 и установлен над генератором. Этот генератор имеет мощность 5 *квт* при 1 500 *об/мин*; $v=230\ v$. Это не единственная установка стабилизации напряжения для передвижных станций. ХЭМЗ выпускает генераторы, собранные по схеме Юдицкого, обеспечивающей постоянство напряжения, даже при включении и до 80% моторных мощностей.

Стабилизация балластной загрузкой. В ряде случаев, когда число потребителей электроэнергии весьма ограничено, например 2—4, а также мощность, потребляемая каждым из потребителей энергии в процессе работы постоянна, можно пользоваться балластной схемой регулирования оборотов. При такой схеме стабилизации с вала редуктора мы должны снимать на генератор постоянный крутящий момент, т. е. при любом скоростном напоре потока $\frac{\rho v_i^2}{2}$ где v_i — скорость потока, крутящий момент на входе

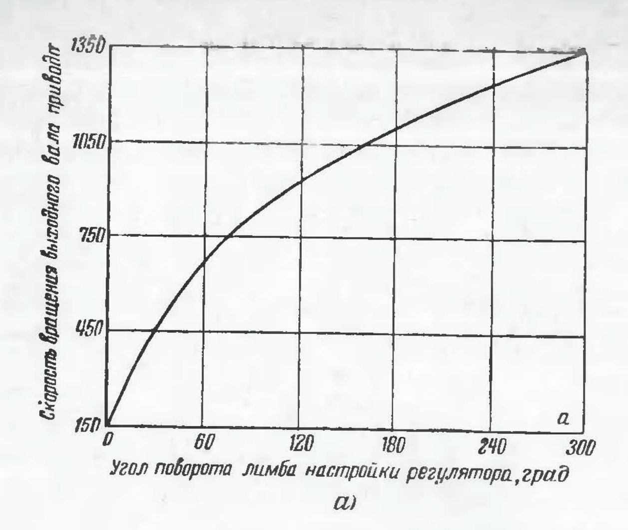


Рис. 24. Образцы характеристик муфт скольжения с регулятором скорости.

а — регулировочная характеристика центробежного регулятора; *б* — характеристика $n=f(M)$ установки с муфтой скольжения и регулятором скорости.

в редуктор, начиная с расчетной скорости v_p, должен быть постоянным.

Крутящий момент растет квадратично с увеличением скорости, нам же необходимо иметь n-const, т. е. на тросе или у генератора

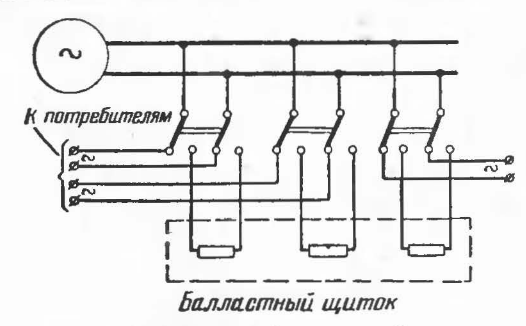


Рис. 25. Схема стабилизации оборотов балластной нагрузкой.

должна быть муфта постоянного момента, которая могла бы сбросить лишний момент. Ее лучше иметь между редуктором и генератором, так как в случае многогирляндной ГЭС такое устройство не надо ставить на каждой гирлянде.

Балластная схема включения нагрузки дается нами на рис. 25.

ГЛАВА ПЯТАЯ

КОНСТРУКЦИИ МИКРОГЭС НА ОДИНОЧНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТУРБИНАХ

13. ОПИСАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Эти установки, с одной стороны, используются для проверки и испытания рабочих органов гирляндных ГЭС, а, с другой стороны, сами являются разновидностями микроГЭС, т. е. энергоустановками малой мощности.

В тех случаях, когда необходимо иметь сравнительно небольшие мощности — до 200 *вт*, можно использовать установки с одиночными поперечными турбинами, закрепленными на раме, или батарейными установками. Такие установки можно применять для индивидуального освещения, мелкого водоснабжения, питания радиоприемников, зарядки аккумуляторов, а также в геологических партиях. Общий вид опытных образцов подобных микроГЭС представлен на рис. 26.

Батарейные гидророторные установки. До наших опытов с поперечными турбинами в литературе описывались тяжеловесные установки с гидророторами диаметром 60 *см* и более, имеющие редукцию оборотов на генератор $i=60\div100$. Потери мощности на таких редукторах достигают 170—290% от полезной мощности, использованной потребителем.

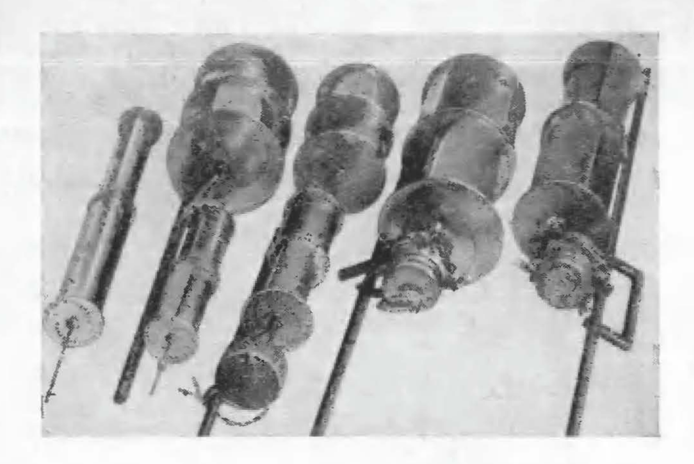


Рис. 26. Набор опытных образцов установок на поперечных турбинах, закрепленных на жестких осях.

Между тем, зная, что скорость вращения роторов обратно пропорциональна их диаметру, а мощность прямо пропорциональна диаметру, и в то же время зная, что в публикуемых схемах лишь одна третья часть полезно используется, а две третьих пропадают в редукторе, мы научились делать простые гидророторы малого диаметра. В практике автора был случай, когда, увеличив в 2 раза оборотность за счет уменьшения диаметра гидроротора и естественно снизив вдвое мощность на валу гидроротора, все же мощность на валу генератора удалось сохранить благодаря уменьшению потерь на редукцию. Но одиночные гидророторы малого диаметра за счет своих малых мощностей ограничиваются применением в качестве гидродвигателей.

Спаренные роторы никто не применял по причине сложности известных конструкций таких установок, хотя предложения такие были. Автор предлагает соединять в батареи гидророторы малых диаметров 5—20 *см*. Как начальную форму такого соединения рассмотрим батарею из двух роторов (рис. 27,*в*). Гидророторам необходимо придавать, как это показали исследования, проведенные автором, противоположное вращение заборниками друг к другу, как это показано на рис. 27,*а*. Мощность каждого из таких роторов, работающих в «гидравлическом зацеплении», увеличивается на 45% по сравнению с мощностью одиночного ротора [Л. 4]. Взаимно уравновешиваются и боковые силы, возникающие на вращающихся гидророторах. Оси гидророторов связываются их подводными выходами при помощи гибкого вала (при малых мощностях, например, отрезком вала привода спидометра, применяемого на грузовых автомашинах), а с верхнего вывода оси одного из гидророторов вращение передается на генератор или на редуктор генератора.

Не вводя в конструкцию дополнительных деталей, выполняем вертикальные силовые элементы опорной рамы в виде дефлекторов — устройств, направляющих поток. Профиль дефлектора выбран

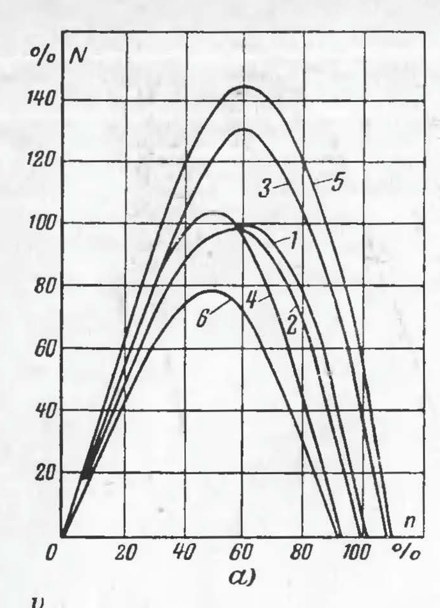


Рис. 27. Батарейные установки.

а — осредненные сравнительные мощности отдельной турбины при различной гидросиловой компоновке поперечных турбин; *б* — четырехтурбинная установка; *1* — турбина; *2* — гибкий вал; *3* — генератор; *4* — дефлектор; *в* — двухтурбинная установка; *1* — турбина; *2* — гибкий вал; *3* — генератор; *4* — шестерня привода; *5* — дефлектор.

таким, чтобы, несколько поджав поток, обеспечить его прямой выход на заборники гидроротора. В случае дефлектора с наклонным выходом потока на гидроротор мощность гидророторов может даже заметно упасть.

Можно соединить между собой гибкими валами несколько спаренных гидророторных установок, от этого мощность возрастет так-

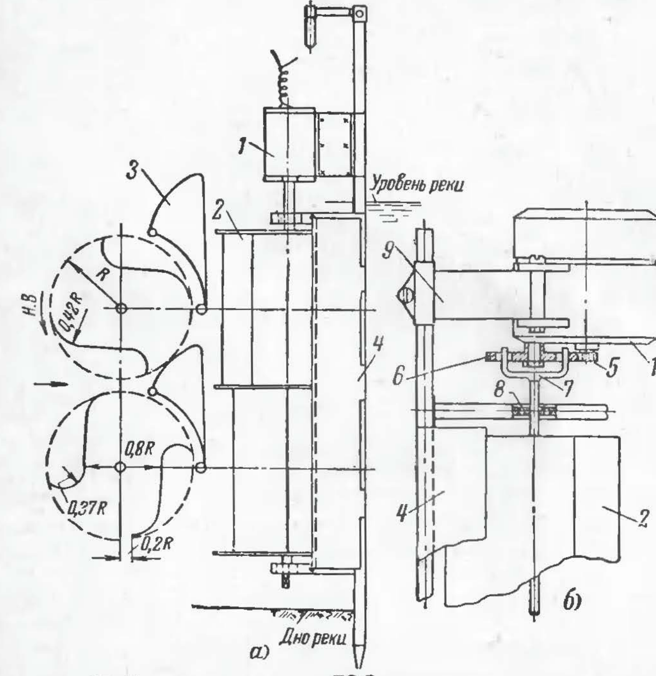


Рис. 28. Конструкция микроГЭС на одиночных поперечных турбинах.

а — общий вид установки; *б* — генераторный узел; *1* — генератор с редуктором; *2* — турбина; *3* — дефлектор; *4* — силовая рама; *5* — шестерня генератора; *6* — шестерня вала ротора; *7* — вилка вала турбины; *8* — опорный шарикоподшипник; *9* — кронштейн крепления генератора.

же в несколько раз. Технология изготовления гидророторов несложна. Даже в опытных образцах на его изготовление требуется 15 *мин*, а серийная трудоемкость 148 *сек*; поэтому батарея из четырех гидророторов обойдется крайне дешево.

Даваемую здесь конструкцию можно с успехом использовать в качестве бакенных установок при использовании предлагаемых установок для питания бакенных лампочек (потребность в таких установках определяется в 2,3 млн. шт.).

Обороты генератора могут быть увеличены вдвое, если мы выполним его привод ротативным. Это осуществимо с применением батарейных схем гидророторов. Для этого на оси одного из гидро-

роторов жестко крепится корпус генератора, а вал генератора приводится через гибкий вал, изогнутый полуокружностью и подсоединенный к гидроротору, имеющему то же направление вращения, что и первый (оно меняется на обратное с поворотом гибкого вала). Таким образом получим двойную скорость вращения генератора. Остается только осуществить выход напряжения к потребителю через кольцевой вращающийся коллектор. Рассмотренное соединение гидророторов в баратеи дает новые возможности в использовании энергии малых рек.

На рис. 27,*а* приводятся данные по изменению оборотов и мощности одиночной турбины (приняты за 100%) по сравнению с относительными мощностями и оборотами батарейных установок гидророторов.

Конструкция установки на жестких осях имеет силовую раму (рис. 28), в которой крепится на подшипниках турбина. Рама с нижней строны имеет выдвижной штырь для закрепления в грунте реки и с верхней стороны отросток для закрепления генератора (лучше тихоходного, до 1 000 *об/мин*). Вал турбины (при диаметре 15—18 *см* и длине 40—60 *см*) через одноступенчатый редуктор приводит этот генератор во вращение. Эффективность установки повышается при снабжении ее дефлекторными устройствами, которые направляют поток под наивыгоднейшими углами набегания на вход турбины. Закрепление таких установок на реках представлено на рис. 29. Ставятся они в зависимости от глубины потока в вертикальном или наклонном положении. Эти установки легко переносятся и просто закрепляются в водном потоке. Их турбины имеют обычно две секции, развернутые одна от другой на 90°. Генератор в этой установке водозащищенный и установлен над водой. Соединение генератора с осью турбины можно осуществить и с помощью приводного ремня.

Рис. 29. Варианты размещения микроГЭС на одиночных турбинах в русле реки.

В случае шестеренчатого соединения ведущая шестерня соединена с осью ротора поводковой вилкой, вставляемой в отверстия стенки шестерни, выполняемые для облегчения. Диаметр отверстий значительно больше, чем диаметр пальцев поводка, что позволяет

установить ось генератора с некоторым отклонением от оси турбины, чем облегчается монтаж.

Ниже приводятся примеры возможного использования рекомендуемых нами микроГЭС, устроенных на отдельных поперечных турбинах.

14. ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОГЭС

Механизм мигания бакенов. На речных путях устанавливаются бакены. Потребность в них весьма значительна. Они питаются от батарей. Но батареи не дешевы. На бакенах применяется мигающий свет (0,5 *сек* — горение, 2—3 *сек* — перерыв).

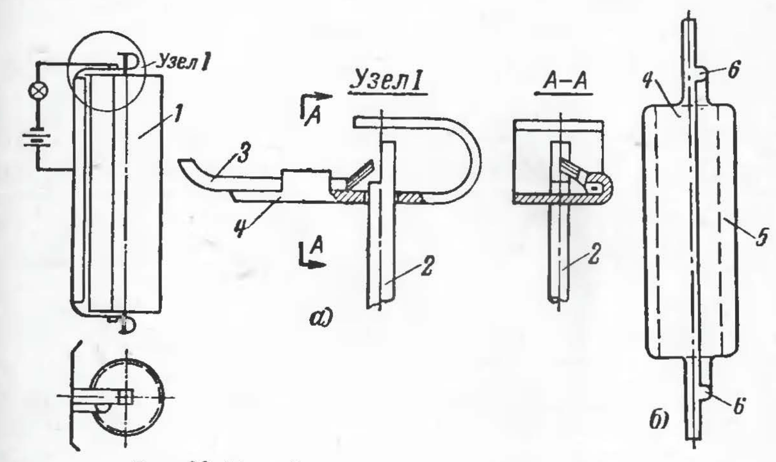


Рис. 30. Устройство механизма мигания бакена с использованием гидроротора.

а — соединение батарейки бакена с гидроротором; *б* — вид на регулируемую щель в заборнике; *1* — гидроротор; *2* — жесткая ось гидроротора; *3* — размыкающий контакт; *4* и *5* — неподвижная и подвижная части щитка заборника; *6* — стяжной винт.

Включение производится электромагнитным реле, также потребляющим ток батарей. Предлагаемый нами механизм исключает применение реле и дает экономию батарей. В нем всего четыре детали (рис. 30). Механизм обеспечивает широкое программирование. Рассчитан он на скорости течения 0,4—1,0 *м/сек*.

Механизм мигания бакенов (рис. 30) состоит из оси с выемкой для прерывателя, рамки гидроротора, гидроротора *3* и щитка, регулирующего щель.

Скорость вращения гидроротора определяется формулой (4), в которой коэффициент скорости вращения при малой нагрузке близок к $C_п=0{,}3$.

Наиболее удобен для работы гидроротор диаметром около 10 *см*; для того чтобы понизить скорость вращения, необходимо пропустить поток по гидроротору через регулируемую щель в заборнике, расположенную по всей высоте гидроротора (рис. 30).

Щель рассчитывается по формуле

$$n_c = \frac{1}{T} = C_п \frac{v \cdot k}{D},$$

где T — суммарное время проблеска и затухания (*сек*), $T = t_п + t_з$;

k — относительная величина щели, $k = \frac{2b}{D}$, здесь b — ширина щели, *м*.

Подставляем цифровые данные для наших случаев, имеем:

$$\frac{1}{2,5} = 0,3\frac{vk}{0,1}; \quad \frac{0,1}{2,5 \cdot 0,3} = vk = 0,133;$$

при $v_1 = 0,4$ $k = 0,332$; $b_1 = 1,7$ *см*;
$v_2 = 1$ $k = 0,133$; $b_2 = 0,7$ *см*.

Электрогидророторная переносная забортная установка. На рыболовных моторных баркасах, на баржах во время их хода, катерах, моторных лодках и прочих самоходных и несамоходных судах во время их переходов часто возникает необходимость иметь дешевые, простые в эксплуатации установки для освещения и зарядки аккумуляторных установок (рис. 32), которые можно употреблять и для питания радиоаппаратуры.

Приводим на рис. 31 установку, состоящую из генератора *1*, гибкого вала *2*. Гидроротор имеет две профилированные обечайки *5*, скрепленные сваркой: вверху — вваркой гибкого вала *2*, в середине — вваркой стержня *6* и в нижней части — вваркой кольца *7*. В кольце *7* закреплен упорный подшипник *9*, который предохраняют от выпадения контровкой *10* через отверстия кольца *7*. В подшипнике вращается также отрезок гибкого вала *2*, закаичивающийся утолщением, фиксирующим вал в осевом направлении. Вторым концом, также имеющем опорную пятку *11*, гибкий вал фиксируется контровкой к обойме *7*, приваренной к обтекаемому грузу *18*. При движении в воде гидроротор передает свое вращение на генератор. Нижний его конец свободно вращается в подшипнике *9*.

Под действием лобового сопротивления гидроротора и груза линия отклоняется к корме на угол β (рис. 32). По опытным исследованиям выяснено, что гидророторы сохраняют свои характеристики до $\beta=40°$. Это объясняется неразрывностью струи и косым натеканием потока, увеличивающим крутящий момент. Однако такие углы неудобны в эксплуатации, и лучше их ограничивать $\beta=35—25°$.

Около борта скорость потока резко снижается; зная это, мы использовали боковую подъемную силу гидроротора, чтобы оттянуть установку от борта. Угол оттяжки от борта φ и угол отклонения к корме β вычисляются:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{P}{2G};$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{P_1}{G},$$

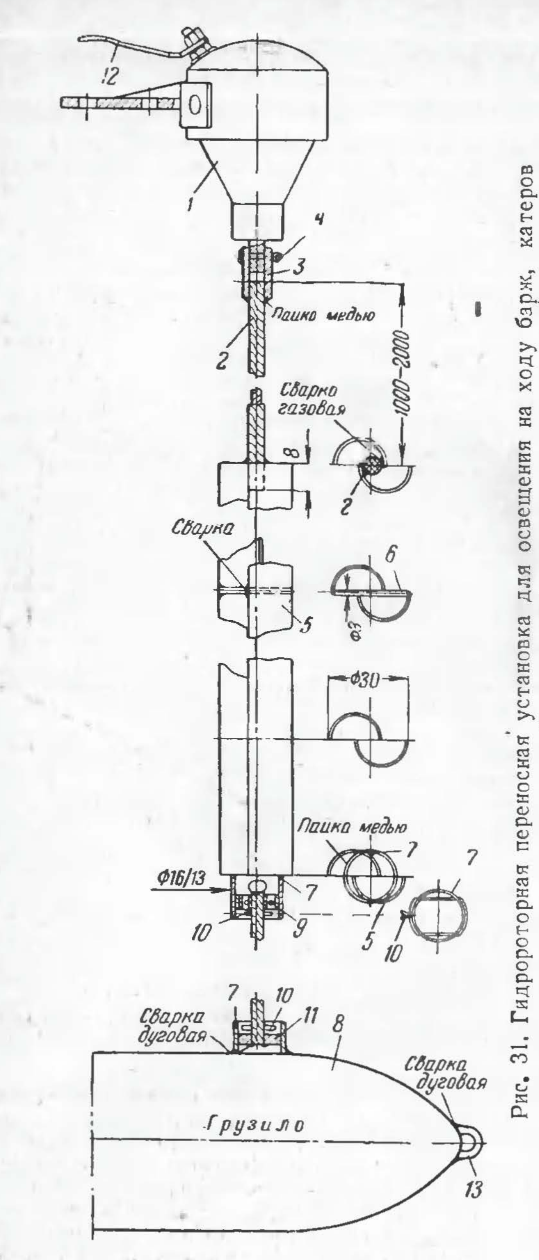


Рис. 31. Гидророторная переносная установка для освещения на ходу барж, катеров и рыболовецких баркасов.

1 — генератор; *2* — гибкий вал; *3* — наконечник; *4* — шплинт; *5* — обечайка; *6* — стержень; *7* — гильза; *8* — грузило; *9* — подшипник; *10* — контровочная проволока; *11* — вкладыш; *12* — токоотвод; *13* — ушко.

где P — лобовое сопротивление, определяемое по формуле (5), *кГ*;
P_1 — суммарное лобовое сопротивление, определяемое по формуле (5) плюс сопротивление груза *2*, *кГ*;
G — вес груза, *кг*.

Чтобы сделать подвеску гидроротора регулируемой, за переднюю скобу груза *2* крепят подтягивающий шнур *5*, натяжкой которого и осуществляется изменение угла наклона гидророторной линии. На этом шнуре на расстоянии 1—1,5 *м* от груза *2* подвешивается оттягивающее грузило *4* (рис. 32).

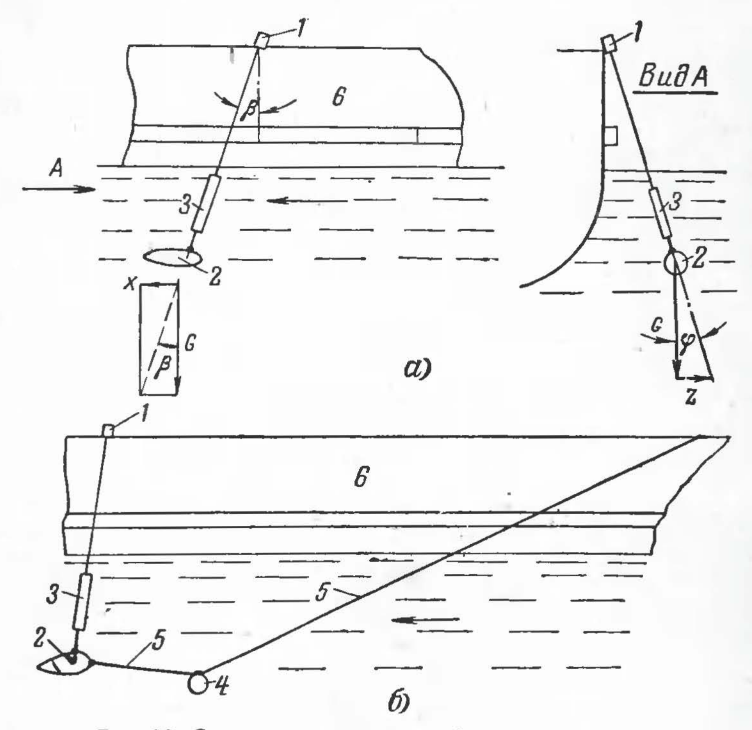


Рис. 32. Схема расположения забортных установок.
1 — генератор; *2* — грузило; *3* — турбина; *4* — оттягивающее грузило; *5* — натяжной шнур; *6* — корпус баржи или судна.

Примеры рационального проектирования и использования гидророторных забортных установок. Скорости моторных и буксирных плавсредств, о которых идет речь (а также моторных лодок), бывают от 2 до 6 *м/сек* (4—12 узлов). Величина осадки перечисленных судов от 0,5 до 4 *м*. Это определяет предельную длину таких установок. Разберем два наиболее характерных примера.

1-й пример. Для морских барж, например, характерны скорости 2—3 *м/сек* и для речных 1,5—2 *м/сек*, осадка до 4 *м*. Желательно делать установки под приемлемые генераторы (наиболее тихоходные генераторы до 100 *вт* имеют обороты порядка 300—600 *об/мин* для непосредственного привода без применения какой-либо редукции. Ориентируясь на них, определим диаметр гидророторной линии из формулы (4):

$$n = C_п \frac{v}{D}. \quad (4)$$

Приняв $v = 2$ *м/сек* и $C_п = 0{,}25$, имеем:

$$D = \frac{0{,}25 \cdot 2}{10} = 0{,}05 \text{ м}.$$

$D = 5$ *см* (для генератора $n_м = 600$ *об/мин*).

Определим мощность ротора, если взять его длину $L = 4$ *м*, равную величине осадки баржи:

$N \approx 0{,}1Fv^3$ (для турбины с формой лопастей, предложенной Ворониными);

$N \approx 0{,}1 \cdot 0{,}05 \cdot 4 \cdot 8 = 0{,}16$ *квт*, т. е. 160 *вт*. Этого вполне достаточно для питания трех лампочек по 50 *вт*.

2-й пример. На рыболовных баркасах осадка порядка 0,5 *м*. Скорость 3—4 *м/сек*.

Если использовать тот же генератор с 600 *об/мин*, то при скорости 3 *м/сек*

$$D = \frac{0{,}25 \cdot 3}{10} = 0{,}075 \text{ м};$$

$$N = 0{,}1 \cdot 0{,}075 \cdot 0{,}5 \cdot 27 \approx 0{,}1 \text{ квт}.$$

100 *вт* вполне достаточно, чтобы питать радиостанцию и читать газеты.

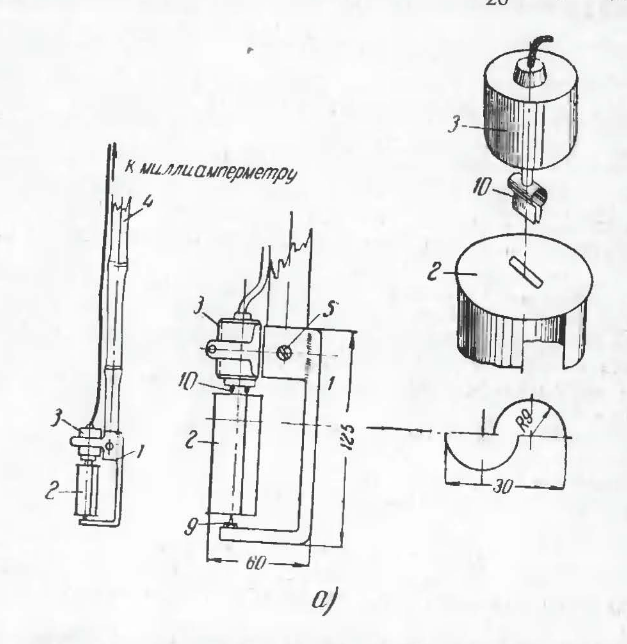
В обоих примерах мы могли бы снизить диаметр гидророторов и, увеличив соответственно их длину, фактически не проиграли бы в мощности при работе на генераторах с оборотами 1 000 *об/мин*.

Измеритель скоростей течения реки. Для работы со свободнопоточными установками необходимо уметь определять скорости течения в месте установки. Особенно это необходимо при постановках гирляндных ГЭС. Сам гидроротор может служить очень хорошим и довольно точным инструментом для измерения скорости течения. В этом случае от гидроротора отсоединяют генератор и редукторные устройства, обеспечивая ему свободное вращение в подшипниках. Далее выбирают водную поверхность с нулевой скоростью и на определенной мерной базе l, например $l = 5$ *м*, проводят гидроротор, накручивая нить на верхний конец оси, выходящий из воды. Положим, что на этой базе гидроротор сделал 23 оборота. Следовательно, на 1 *м* пройденной базы приходилось

$$n_l = \frac{n}{l} = \frac{23}{5} = 4{,}6 \text{ оборота}.$$

Далее, если мы этот ротор опустим в поток и будем его держать, получим обратное явление: «база» будет двигаться относительно закрепленного в одном створе вращающегося гидроротора.

Если по одновременному сигналу пустим гидроротор и секундомер и за промежуток времени в 20 *сек* на ось намотается 102 витка нити, то скорость вращения ротора составит $n=\frac{102}{20}=5{,}1$ *об/сек*.



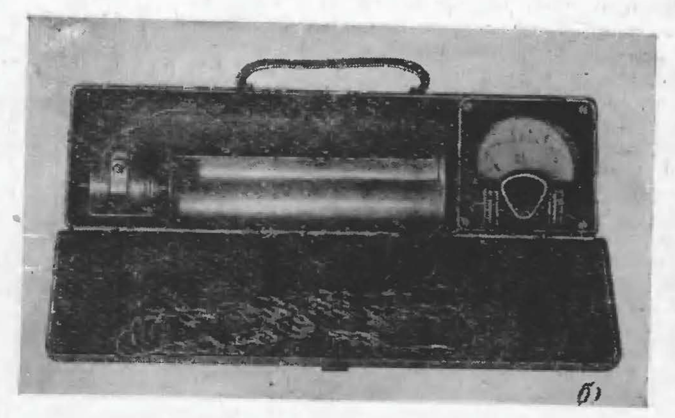


Рис. 33. Установка для замера скорости течения.

а — устройство установки; *1* — опорный кронштейн; *2* — турбина; *3* — генератор; *4* — штанга; *5* — винт; *9* — пята опорная; *10* — палец; *б* — общий вид установки.

Если бы скорость течения была бы 1 *м/сек*, то ей соответствовала бы скорость вращения гидроротора 4,6 *об/сек*. Таким образом, действительная скорость

$$n=\frac{n_c}{n_l}=\frac{5{,}1}{4{,}6}=1{,}11\ \text{м/сек}.$$

Но для упрощения замеров без необходимости пользования секундомером и подсчетом оборотов закрученной нити имеет смысл изготовить описанный ниже прибор.

Связывающей частью прибора (рис. 33) является державка *1*, на которой крепятся все основные его части: гидроротор *2*, водонепроницаемый микрогенератор (переделанный из 50-копеечного моторчика, купленного в магазине «Детский мир») и бамбукового шеста *4* (выполненного из лыжной палки). При вытаскивании штифта *5* шест может быть снят и использоваться как палка при ходьбе. От генератора (датчика) идет двухжильный провод *6*, который штыревым разъемом *7* соединен с миллиамперметром *8*, показания которого (ПМ-70, ГОСТ 1845-42, шкала на 5 *ма*) протарированы по скорости течения контрольной крыльчаткой. Характерно то, что если крыльчатка дает скорость 2 *об/сек* при скорости течения 1 *м/сек*, то гидроротор приемлемых параметров дает ~10,5 *об/сек* при той же скорости течения. Поэтому между гидроротором и датчиком нет потребности делать редукторные устройства. Узел державки имеет габариты (с гидроротором и датчиком) 30×60×125 *мм* и легко размещается в кармане.

Оценочный расчет быстроходности ротора ведется следующим образом: например, при $v=1$ *м/сек*

$$n_c=C_n\frac{v}{D}=\frac{0{,}31\cdot 1}{0{,}03}=10{,}66\ \text{об/сек}.$$

(что составляет 640 *об/мин*).

Обычно гидророторы закрепляются на двух опорных подшипниках, а затем через переходные муфты сочленяются с генератором. Такое закрепление удорожило бы прибор, а главное, понизило бы его точность. Для резкого уменьшения радиуса трения скольжения (от чего особенно зависит величина момента трения при малых нагрузках), а также сокращения числа опорных подшипников нижняя шайба надета на тонкий штырь *9*, а верхняя шайба непосредственно входит в поводковую вилку электродатчика *10*.

При замере крыльчаткой, отклоненной от вектора скорости на 15°, уже появляются недопустимые расхождения в показаниях прибора. В то же время при повороте шеста предлагаемого прибора даже на 120° в любую сторону от вектора скорости, никаких изменений в его показаниях не наблюдается. Стоимость крыльчатки выпуска 1957 г. — 215,0 руб. Стоимость гидророторного измерителя в условиях мелкосерийного производства составляет 6 р. 46 к. Прибор снабжен бамбуковым шестом (диаметром 24; $l=1\,400$), весит 1 300 *г*. Измеритель изображен на рис. 33,*б*.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Некоторые поршневые насосы для компоновки насосных установок на гирляндах поперечных и торцовых турбин

№№ п/п.	Расход, $м^3$	Давление, $кГ/см^2$	Скорость вращения, *об/мин*	Марка	Мощность привода, *квт*	Вес насоса, *кг*	Цена, руб.	Завод-изготовитель
1	3,6	1,5	60	НПП-3,5	1,7	32	38	
2	3,6	1,5	60	РН-100	1,7	33	50	
3	2,4	3	50	СН-1	0,5*	188	77	
4	2,3—3,5	3	30—44	БКФ-4-316	—	27	87	
5	6	3	50	ГПН-2/К-18	3*	215	102	Ярославский
6	11,8	3	45	СН-4	2,5*	533	166	
7	16	3	45	К-21	3,5	415	110	
8	23	3	43	КН-165-330	3,5*	866	—	Ярославский
9	25	3	101	ЭНП-4/1	5	732	—	Липецкий
10	40	3	40	КН-200-400	6,0*	1 358	—	Ярославский
11	78	5—10	71	ЭНП-7	20—30	1 920	—	
12	3,5	6	50	НПП-3,5	2,8	348	80	
13	7	7	50—80	НВ-1 1/2	—	250	130	
14	10	7	165	СЛ-1НС	—	280	167	
15	13	7	56	ОП-13	8	589	—	Тульский
16	6,4	10	—	Буровая техника	—	32	29	

* Мощность указана в лошадиных силах.

ПРИЛОЖЕНИЕ II

Тихоходные генераторы постоянного тока, выпускаемые промышленностью на мощности до 70 *квт*

№ п/п.	Мощность, *квт*	Марка	Скорость вращения, *об/мин*	Напряжение, *в*	Ток, *а*	Вес, *кг*	Цена, руб.
1	0,13	ГПМ-130	500	18	7	—	—
2	0,1	ГАУ-4101	300/450	6	10	10,5	—
3	0,22	Г-20	900	12	18	12,5	—
4	0,25	Г-0,66	950	12	20	22,5	—
5	0,96	Г-52А	625/850	12	80	—	—
6	1,0	ГТТ-1000	1 000	24	—	—	—
7	3,5/2,7	ВС-18/8	1 000/750	—	28/22	110	100
8	3,6	МП-542-1/2	500	115	—	295	—
9	6	МП-543-1/2	428	—	115/230	472	460
10	6,5	ВС-24/12	750	45	—	290	250
11	9,5	МП-543-2/2	428	115 и 230		573	—
12	10	ВС-29,5/21	375	45	—	685	510
13	10	ВС-34/18	300	65	—	1 000	720
14	11,2	МА-544-1/2	375	115 и 230		687	610
15	11,5	ВС-34/26	250	60	—	1 280	800
16	17,5	В-48/24-6	187	115	—	2 150	1 800
17	24	МА-543-1/2	375	115 и 230		1 018	850
18	36	МА-545-2/2	375	230	—	1 218	970
19	45	В-48/30-6	375	115	—	2 400	2 000
20	73/46	МП-546-1/4	500/375	110/220	—	1 538	1 180

Перечень генераторов переменного тока с мощностями менее 50 *квт* на скорости вращения до 1 500 *об/мин*

№ п/п.	Марка	Скорость вращения, *об/мин*	Мощность, *квт*	Мощность при cos φ = 0,8	Частота	Напряжение, *в*	Вес, *кг*	Цена, руб.	Тип машины
1	аПН-10	1 500	0,75	—	50	120	64	90	Синхронный
2	Г2Б	1 400	0,96	—	50	12	14,5	60,7	Трехфазный
3	аПН-28,5	1 500	2	—	50	120	90	117	Синхронный
4	аПН-68	750	1,8	—	50	115	136	140	Синхронный
5	аПН-45	1 500	2	—	50	120	117	122	Синхронный
6	СГС-4,5	1 500	—	3,6	50	230	145	142	Трехфазный
7	СГ-4с-1	1 500	4	3,2	50	230/127	120	160	Трехфазный
8	БМЗ-4,5	1 500	—	4,5	50	230/127	124	73	Трехфазный
9	СГС-6,25	1 500	—	5	50	230/127	170	169	Трехфазный
10	аПН-85	1 500	6	—	50	120	178	160	Синхронный
11	аПНТ-85	1 500	7,2	—	50	230	175	185	Трехфазный
12	БМЗ-6,5	1 500	—	6,5	50	230/127	155	89	Трехфазный
13	СГ-9с	1 500	9	7,2	50	120	150	220	Трехфазный
14	СГС-12,5	1 500	12	10	50	230	335	315	Трехфазный
15	аПН-145	1 500	12	—	50	120	350	405	Синхронный
16	ЧС7	1 500	14	10,5	200	240	280	489	Трехфазный
17	МСА-72-4	1 500	15	12	50	230/400	275	219	Трехфазный
18	МСА-72-4А	1 500	15	12	50	230/400	275	300	Трехфазный
19	СГТ-15/6	1 000	—	15	50	400	270	180	Трехфазный
20	СГТ-25/6	1 000	—	25	50	400	375	210	Трехфазный
21	МСА-73-4А	1 500	30	24	50	230/400	330	360	Трехфазный
22	СГВ-35/6	1 000	—	35	50	400	460	275	Трехфазный
23	СГ-35/6	1 000	35	28	50	230/400	470	229	Трехфазный
24	ЧС-9/4	1 500	43	30/cos φ=0,7	400	230/400	865	1 000	Трехфазный
25	аПН-290	1 500	50	—	50	230	600	570	Синхронный
26	СГ-60-6	1 000	57	45,6	50	230/400	600	299	Трехфазный
27	ЧС-9/2	1 500	64	45/cos φ=0,7	200	230/400	770	900	Трехфазный

Примечание. Высокочастотные генераторы можно прнменять на частоте 50 *гц*, снижая соответственно скорость их вращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кажинский Б. Б., Свободнопоточные гидроэлектростанции малой мощности, Госэнергоиздат, 1950.

2. Щапов Н. М., Турбинное оборудование гидростанций, 3-е изд., Госэнергоиздат, 1961.

3. Сборник научно-технической информации по лесной промышленности № 9, ЦБТИ лесной промышленности ГНТК Совета Министров РСФСР, Гослесбумиздат, 1960.

4. Научно-техническая информация по лесной промышленности, сборник № 20, Государственный Комитет Совета Министров РСФСР по координации научно-исследовательских работ, ЦБТИ лесной промышленности, Гослесбумиздат, 1961.

5. Виленский М., Развитие электрификации СССР, изд. АН СССР, 1960.

6. Журнал «Радио», 1960, № 1, и 1961, № 5.

7. Журнал «Изобретатель и рационализатор», 1961, № 12 (В журналах [Л. 6 и 7] приводятся чертежи гирляндных ГЭС).